

N° 3491

N° 300

ASSEMBLÉE NATIONALE

SÉNAT

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

DIXIÈME LÉGISLATURE

SESSION ORDINAIRE DE 1996-1997

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 2 avril 1997

Rattaché pour ordre à la séance du 27 mars 1997
Enregistré à la Présidence du Sénat le 2 avril 1997

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

RAPPORT

sur

LE CONTRÔLE DE LA SÛRETÉ ET DE LA SÉCURITÉ
DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

par

M. Claude BIRRAUX,
Député

Tome I :
Conclusions du Rapporteur

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Robert GALLEY,
Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Henri REVOL,
Vice-Président de l'Office.

ASSEMBLÉE NATIONALE

COMMISSION
DE LA
PRODUCTION ET DES ÉCHANGES

LE PRÉSIDENT

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

LIBERTÉ - ÉGALITÉ - FRATERNITÉ

PARIS, LE 23 avril 1996

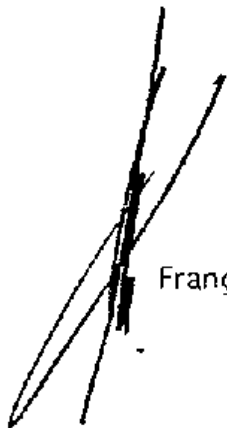
Monsieur le Président,

Au cours de sa réunion du 17 avril, la Commission de la production et des échanges a entendu M. Claude Birraux qui lui a rendu compte de ses travaux sur le contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires.

Dans le cadre de la mission permanente confiée à l'Office sur la sûreté et la sécurité nucléaires, la Commission, considérant l'intérêt des travaux menés par l'Office et son rapporteur, M. Claude Birraux, a décidé de vous saisir à nouveau de ce sujet afin que l'actualité nucléaire et le suivi des études engagées puissent se poursuivre en 1996.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

et très amicaux.



François-Michel GONNOT
Député de l'Oise

Monsieur Robert GALLEY
Président de l'Office parlementaire
d'évaluation des choix scientifiques et
technologiques
Député de l'Aube

*"J'ignore la vérité absolue
Je suis humble devant mon ignorance
Là résident mon honneur et ma récompense"*

K. GIBRAN

Le sable et l'écume

AVANT-PROPOS

La Commission de la Production et des Échanges, après avoir auditionné votre rapporteur sur les conclusions de son rapport 1995, a saisi à nouveau l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, d'un rapport sur « *le contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires* ».

Je remercie la Commission et son Président, M. François-Michel GONNOT, d'avoir auditionné votre rapporteur sur sa précédente saisine. Cette démarche s'insère dans une logique de suivi parlementaire et de complémentarité entre les différents organes de notre Assemblée, ce qui n'est pas assez fréquent et mérite d'être signalé.

Après avoir défriché des pans entiers de la problématique de la sûreté nucléaire, déclinée à travers des thèmes nouveaux chaque année, il m'a semblé judicieux de redonner un coup de projecteur sur un thème déjà abordé en 1991, la maintenance des réacteurs électronucléaires d'EDF.

En 1991 se mettait en place la réforme NOC de la maintenance. Cinq ans après, comment cette réforme a-t-elle été intégrée par les différents partenaires ?

Le rapport esquisse un bilan, avec toujours cette vision extérieure au système, qui ne cherche pas à se substituer aux acteurs et aux responsables d'entreprise.

C'est dans la continuité que s'inscrit ce rapport. Il me semble que la ligne de force présente à chacun de mes rapports est la surveillance radiologique des travailleurs pour laquelle j'ai proposé une réforme de l'organisation de la radioprotection dans notre pays.

Malgré les résistances et les pesanteurs sociologiques, j'ai enregistré, avec le soutien de Mme VEIL, alors Ministre des Affaires sociales et de la Santé, quelques succès. C'est insuffisant, et la pression doit être maintenue.

L'an dernier le professeur J.F. GIRARD, Directeur général de la Santé, m'avait promis qu'enfin les groupes permanents d'experts allaient être mis en place, par la création d'une section radioprotection au Conseil Supérieur d'Hygiène publique. Ce devait être fait avant la fin 96 !

J'ai ausculté avec attention le Journal Officiel. Comme Soeur Anne, je ne vois rien venir. Faut-il vous étonner, Monsieur le professeur, que je « grondoie » ?

A l'heure où l'on parle de simplification administrative et de réforme de l'État, je suis navré de constater que sur un point qui recueille un large consensus, l'administration utilise toujours un bulldozer pour déplacer un petit pois !

On réduira dans ce pays l'écart entre la classe politique et les citoyens, le jour où on mettra autant d'ardeur dans l'obligation de résultat que dans la tentation médiatique.

En phase avec la vocation de notre Office, j'avais l'an dernier longuement développé les bases scientifiques de la révision des normes de radioprotection.

En mai 1996, le Conseil des Ministres de l'Union Européenne a adopté le projet de directive traduisant la recommandation 60 de la CIPR. J'appelle le gouvernement à suivre ma recommandation de l'an dernier, à savoir traduire "sans délais et sans états d'âme" cette directive en droit français.

Il faut noter, à l'appui de cette recommandation, la publication des derniers résultats de la *Life Span Study* d'Hiroshima et Nagasaki qui conclut à l'observation d'un excès significatif de cancers pour des doses reçues de 50 mSv, alors que dans sa précédente version, on ne voyait rien de significatif au-dessous de 200 mSv.

L'application du principe de précaution qui doit guider toute autorité réglementaire, ne laisse pas de place à l'attentisme.

L'autre thème abordé dans ce rapport est celui des réacteurs hybrides, en particulier le projet piloté par le professeur Carlo RUBBIA, Prix Nobel de Physique.

Le projet RUBBIA constitue en effet une nouveauté apparue sur la scène scientifique en 1993. Ce projet suscite des enthousiasmes et des réticences tout aussi véhéments les uns que les autres.

L'audition publique organisée le 21 novembre 1996 a démontré toute l'actualité du sujet, tant par la qualité des participants (tout le gotha scientifique nucléaire, plus le Pr. Georges CHARPAK, Prix Nobel et M. Hubert CURIEN, ancien ministre) que par la qualité des échanges. Elle a aussi démontré, une fois de plus, la capacité de notre Office parlementaire à organiser des débats scientifiques de haut niveau, avec des participants eux aussi de très haut niveau.

J'ai bien conscience qu'avec cette audition publique, j'ai poussé les limites de notre intervention un peu plus loin, un peu plus haut, tout en demeurant fidèle à la vocation de notre Office qui est d'éclairer les choix en amont des décisions à intervenir.

Nous étions là très en amont, au stade de la recherche fondamentale, mais cette recherche peut demain ouvrir de nouveaux horizons pour le nucléaire.

Le savoir-faire de l'Office renforce sa notoriété et, par delà, celle du Parlement, dans la communauté scientifique.

Mon programme d'études m'a conduit cette année sur les sites de Saint Alban en France, Ringhals en Suède, Loviisa en Finlande, Zion et Waterford aux États-Unis. Je suis également allé visiter les installations du CETIC (Centre d'Expérimentation des Techniques d'Interventions sur les Chaudières nucléaires) à Chalon sur Saône. Ce ne sont pas moins de 21 jours de visites et d'enquêtes sur le terrain que j'ai consacrés à la préparation de ce rapport, avec plus de 100 personnes rencontrées.

Par ailleurs, l'expertise et l'expérience de l'Office Parlementaire conduisent à de nombreuses sollicitations extérieures pour des conférences. J'ai ainsi :

- présidé un colloque de la Société Française d'Énergie Nucléaire sur les déchets de très faible activité ;
- présidé un colloque consacré aux risques technologiques ;
- présenté une communication sur « le scientifique, l'expert et le politique » lors d'un colloque organisé pour le 100^{ème} anniversaire de la découverte de la radioactivité ;
- présenté une conférence intitulée « L'Europe et la Suisse ont-ils peur du progrès scientifique » devant la Fédération Romande de l'Énergie à Lausanne ;
- participé au jury d'une thèse en sociologie, présentée par Mlle BOURRIER, sur *"Une analyse stratégique de la fiabilité organisationnelle. Organisation des activités de maintenance dans quatre centrales nucléaires en France et aux États-Unis"*.

Enfin, votre rapporteur s'est vu décerner le Prix de la Journée de Médecine Nucléaire de l'Institut Gustave Roussy. C'est l'ensemble de l'Office Parlementaire, ses membres et collaborateurs, qui se trouve ainsi honoré à travers cette distinction.

La mission de l'Office Parlementaire dans le champ de la sûreté nucléaire s'inscrit dans la durée. Le risque est de tomber dans la routine et la banalisation.

Or le souci permanent qui m'habite de renouveler les thèmes, de les approfondir, d'améliorer des méthodes déjà éprouvées, contribue à faire de ce rapport une matière vivante.

L'Office Parlementaire est devenu incontournable sur ce sujet, c'est même l'un des lieux où peut se dérouler sereinement le débat scientifique et politique.

D'autre part, un véritable réseau s'est tissé avec l'ensemble de nos interlocuteurs français et étrangers.

Lorsque votre rapporteur est reçu, c'est avec beaucoup d'égards et de sympathie, et avec le respect que l'on porte aux Membres du Parlement.

Après ma visite à la NRC américaine, le courrier du Commissaire DIAZ le prouve : *"il est rassurant de voir que le Parlement français, à travers votre expérience et votre travail, manifeste de façon continue une attention si soutenue pour l'industrie nucléaire. Ceci démontre l'engagement de la France au service de la sûreté, de l'exploitation et de l'intérêt économique de l'énergie nucléaire"*.

N'est-ce pas là le meilleur encouragement pour ceux qui auraient des doute sur le rôle du Parlement ?

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I

La réforme de la maintenance à EDF.....	15
A. La maintenance des réacteurs électronucléaires au seuil des années 90 : la nécessité d'une réforme en profondeur.....	16
1. La prise de conscience d'une situation non idéale.....	16
1.1 Les incidents de maintenance de 1989.....	16
1.1.1 L'incident de Dampierre-1 (1er août 1989).....	16
1.1.2 L'incident de Gravelines-1 (16 août 1989).....	16
1.2 Les difficultés de la réponse apportée à court terme.....	17
1.2.1 Une réaction vigoureuse de l'autorité de sûreté.....	17
1.2.2 Les mesures compensatoires, première réponse concrète d'EDF.....	18
1.2.3 Des résultats peu probants.....	19
2. La réponse de fond de l'exploitant : le rapport du groupe ad hoc sur « l'amélioration de la sûreté nucléaire en exploitation ».....	20
2.1 La mission du groupe ad hoc.....	20
2.2 Le déroulement des travaux du groupe ad hoc.....	21
2.2.1 Le rapport Noc s'est inscrit dans le prolongement de réflexions antérieures ou parallèles.....	21
2.2.2 Le rapport Noc s'est efforcé de faire remonter l'expérience du terrain.....	23
2.2.3 Le rapport Noc a dressé un constat sans complaisance.....	23
2.2.4 Le rapport Noc a fourni un socle d'actions important.....	24
B. La démarche Sûreté-Maintenance, un dispositif ambitieux et complexe qui se heurte parfois aux rigidités de l'entreprise.....	26
1. Le recentrage sur la maîtrise d'ouvrage.....	27
1.1 L'analyse des actions de maintenance a montré où faire porter les efforts.....	27
1.2 L'ingénierie de maintenance renforce les capacités d'analyse sur les sites.....	28
1.2.1 L'ingénierie de maintenance doit orienter les choix locaux de maintenance.....	28
1.2.2 L'ingénierie de maintenance s'est installée progressivement.....	29
1.2.3 Le positionnement de l'ingénierie de maintenance doit encore être ajusté.....	31
1.3 La démarche Qualité-Sûreté vise à identifier, hiérarchiser et maîtriser les risques.....	34
1.3.1 La démarche Qualité-Sûreté élargit la démarche PQS.....	34
1.3.2 L'analyse de risques oblige à s'interroger sur la sûreté de l'intervention.....	36
1.3.3 Les PdQ et PQS concrétisent l'application de la démarche.....	40
1.4 Le contrôle se focalise sur le respect des exigences de sûreté.....	41
1.4.1 La surveillance des prestataires ne doit pas être un vain mot.....	41
1.4.2 Les chargés de contrôle forment la boucle de premier niveau.....	43
1.4.3 Les Missions Sûreté-Qualité forment la boucle de deuxième niveau.....	46
2. L'affirmation de la politique Prestataires.....	49
2.1 Le partage des tâches entre EDF et les prestataires semble devoir se stabiliser.....	49
2.1.1 Le dilemme « faire ou faire faire » continue de susciter de nombreux débats.....	49
2.1.2 Les sites ont défini aujourd'hui des « politiques industrielles ».....	52
2.2 Le choix des prestataires vise à garantir la sûreté des interventions.....	55

2.2.1	Les critères de sélection des prestataires se sont renforcés.....	56
2.2.2	La « politique d'achat » des CNPE doit s'adapter en conséquence	59
2.2.3	L'évaluation des prestataires est l'une des clefs de voûte du système.....	60
2.3	La politique de partenariat tend à instaurer des relations nouvelles entre EDF et ses prestataires.....	62
2.3.1	EDF s'efforce de réduire le poids de la contrainte temporelle	62
2.3.2	Des stratégies d'adaptation restent cependant nécessaires.....	66
3.	L'amélioration de la qualité des arrêts de tranche.....	73
3.1	L'anticipation et l'ouverture des arrêts de tranche sont à l'ordre du jour	73
3.1.1	Les capacités d'anticipation des sites ont bien avancé	73
3.1.2	L'ouverture des arrêts de tranche reste à parfaire	76
3.2	La maîtrise des interfaces progresse peu à peu	77
3.2.1	Le chef d'arrêt assume la responsabilité de l'arrêt de tranche	77
3.2.2	Le chargé d'affaires gère les interfaces dans les activités dont il a la charge	79
3.2.3	L'interface avec la conduite s'est améliorée.....	83
3.3	La gestion du « fortuit » sollicite toujours fortement les acteurs.....	88
3.3.1	Le fortuit réduit les marges d'autonomie	88
3.3.2	La démarche Qualité-Sûreté est confrontée à la pression du temps réel.....	90
3.4	La qualité de l'arrêt s'appuie sur le professionnalisme des acteurs.....	91
3.4.1	L'acquisition des compétences de maintenance a fait l'objet d'actions soutenues	91
3.4.2	La gestion des compétences reste cependant délicate	93
3.5	La qualité de l'arrêt repose enfin sur la capitalisation de l'expérience.....	95
4.	L'articulation nécessaire avec les autres démarches du Parc	96
4.1	La démarche MCP/Ingénieries de site rejoint certains objectifs de la démarche Sûreté Maintenance	96
4.1.1	La démarche MCP/Ingénieries de site tend à constituer un réseau de compétences	96
4.1.2	Les Analyses et Affaires Parc sont représentatives du fonctionnement en réseau.....	98
4.2	La démarche Maîtrise des Coûts reste en arrière plan	99
4.2.1	La maîtrise des dépenses recherche une stabilisation des coûts de la maintenance	99
4.2.1	La maîtrise des arrêts vise à améliorer la disponibilité des réacteurs.....	100
4.3	Les liens avec la Direction de l'Équipement ont été renouvelés.....	101
4.4	Les autres démarches de l'EPN sont également mises à contribution	103
4.4.1	La démarche Conduite a permis de dégager des ressources humaines pour les MSQ.....	103
4.4.2	La démarche Système d'Information a donné des outils aux acteurs du terrain	104
C.	La démarche Sûreté-Maintenance, une oeuvre de longue haleine qui nécessite une rigueur sans faille	106
1.	Un suivi rigoureux par l'autorité de sûreté	107
1.1	La démarche Sûreté-Maintenance est passée au crible de l'évaluation de sûreté	107
1.1.1	L'IPSN a naturellement instruit les dossiers de l'exploitant	107
1.1.2	Le groupe permanent « réacteurs » s'est penché plusieurs fois sur le contenu de la réforme.....	110
1.2	La DSIN maintient une vigilance constante sur l'état d'avancement de la réforme	111
1.2.1	La DSIN a surveillé le processus de mise en place de la démarche.....	111
1.2.2	La DSIN a adapté le cadre des inspections pratiquées par les DRIRE	113
2.	Une montée en puissance progressive pour la démarche Sûreté-Maintenance	115
2.1	La démarche Sûreté-Maintenance a subi quelques inflexions au niveau du Parc.....	115
2.1.1	Le discours de la direction s'est structuré peu à peu	115
2.1.2	La nécessité d'un pilotage renforcé s'est imposée.....	117
2.2	La réalisation des plans d'action sur les sites a demandé du temps.....	118
2.2.1	La mise en place de la démarche s'est faite avec détermination.....	118

2.2.2 Les rythmes de progrès ont cependant été contrastés	119
3. Réforme inachevée ou démarche éternelle ?	121
3.1 Les résultats de la démarche Sécurité-Maintenance sont encore insaisissables	121
3.1.1 Les critères d'appréciation sont peu évidents	121
3.1.2 EDF estime que la réforme de la maintenance a conduit à une amélioration saisissable de la sûreté	122
3.1.3 L'IPSN a une opinion plus nuancée	123
3.1.4 L'autorité de sûreté conserve une attitude prudente	125
3.2 Certains points « techniques » nécessitent de maintenir un effort spécifique	127
3.2.1 La gestion des DMP	127
3.2.2 La vérification du caractère opérationnel des capteurs IPS	129
3.2.3 Les requalifications et essais de redémarrage	131
3.3 La réforme de la maintenance : retour aux sources et révolution culturelle	134
3.3.1 La démarche Sécurité-Maintenance doit conduire à une meilleure articulation entre professionnalisme et assurance qualité	134
3.3.2 La démarche Sécurité-Maintenance est aussi une révolution culturelle	137
3.3.3 La réforme de la maintenance, une révolution de palais ?	139
Réformer : comment et jusqu'où ?	141

Chapitre II

La protection radiologique des travailleurs extérieurs du nucléaire

1997 : un tournant ?	143
1. Les conditions de suivi des travailleurs extérieurs se sont améliorées	143
1.1 La réforme du suivi médical des travailleurs exposés aux rayonnements complète les outils disponibles jusqu'ici	144
1.1.1 La création de services médicaux du travail spécialisés dans les postes sous rayonnements est une heureuse mesure	144
1.1.2 La carte de suivi médical n'a pas encore surmonté certaines de ses carences	146
1.1.3 L'Association des médecins du travail du nucléaire amorce une action de fond	147
1.2 L'exhaustivité du suivi dosimétrique a franchi une nouvelle étape	147
1.2.1 La pression de la Commission européenne s'est faite de plus en plus insistante	147
1.2.2 Dosimo obtient la consécration... sous conditions	150
1.2.3 L'avenir des deux systèmes de dosimétrie devient soudain plus flou	152
2. La protection des travailleurs à emploi précaire continue de susciter des polémiques	152
2.1 L'enquête STED nourrit le débat sur les « intermittents du nucléaire »	153
2.1.1 L'enquête STED est un premier pas vers une approche plus cognitive et moins émotive de cette délicate question	153
2.1.2 L'enquête STED a cependant suscité une émotion mobilisatrice	156
2.2 L'interdiction éventuelle du travail précaire en zone contrôlée a fait rebondir le débat	158
2.2.1 Le Ministère de Travail propose d'interdire l'accès des CDD et des travailleurs intérimaires aux zones contrôlées	158
2.2.2 La note du Ministère a provoqué une puissante onde de choc	161
2.2.3 La recherche d'une meilleure protection des salariés précaires ne nécessite peut-être pas une position aussi radicale	162
2.2.4 Le risque de polyexposition à des agents cancérogènes est une véritable question pour la santé au travail des salariés à statut précaire	164

Chapitre III

Le projet de réacteur hybride du Pr. Carlo Rubbia 167 |

A. Le projet de réacteur Rubbia s'inscrit clairement dans la lignée des réacteurs nucléaires

« révolutionnaires »	168
1. Le réacteur Rubbia fait appel à des éléments fortement innovants	169

1.1 Les objectifs « politiques » du projet Rubbia ont largement contribué à la définition des choix techniques essentiels.....	169
1.2 Les deux grandes options du projet Rubbia sont donc indépendantes mais complémentaires	170
1.2.1 Un réacteur Rubbia est avant tout un « système hybride »	170
1.2.2 Un réacteur Rubbia met en oeuvre le cycle du thorium	173
1.3 Le réacteur Rubbia repose sur la mise en oeuvre de deux composants principaux.....	177
1.3.1 Un accélérateur de haute intensité fournit le faisceau de protons	177
1.3.2 L' « amplificateur d'énergie » recueille et transforme l'énergie de fission	185
2. Le projet Rubbia s'insère pleinement dans le passé et le présent de la recherche nucléaire	187
2.1 Les débuts de l'ère nucléaire ont suscité des recherches foisonnantes	187
2.1.1 La mise en oeuvre du cycle thorium.....	187
2.1.2 La mise en oeuvre de systèmes hybrides.....	188
2.2 Les systèmes hybrides connaissent aujourd'hui une faveur nouvelle.....	188
2.2.1 Le projet Omega fédère les efforts japonais	189
2.2.2 Le projet ADTT à Los Alamos a été remodelé récemment	190
B. Le concept de réacteur Rubbia présente des qualités certaines.....	196
1. Un réacteur Rubbia paraît bien protégé contre les événements d'origine interne	196
1.1 La maîtrise de la réactivité présente certaines garanties intéressantes	196
1.1.1 Le réacteur Rubbia est doté de plusieurs systèmes d'arrêt	196
1.1.2 Le réacteur Rubbia présente des coefficients de réaction en général négatifs.....	198
1.1.3 Le réacteur Rubbia montre une bonne robustesse aux insertions de réactivité	201
1.1.4 Le réacteur Rubbia manque cependant d'un système de contrôle permettant de compenser les évolutions spontanées de réactivité du combustible	203
1.2 L'évacuation de la puissance thermique repose entièrement sur des systèmes passifs.....	205
1.2.1 Le réacteur Rubbia retient le plomb comme liquide caloporteur.....	205
1.2.2 Le refroidissement du coeur fait appel à la convection naturelle.....	207
1.2.3 L'évacuation de la chaleur résiduelle en situation anormale se fait par convection naturelle d'air	210
1.3 Le confinement des matières radioactives s'écarte plus des « canons » attendus en matière de sûreté	211
1.3.1 Certains modes de dégradation des barrières nécessitent des études plus approfondies.....	212
1.3.2 La fenêtre à protons est un élément critique du système	217
1.3.3 La matérialisation des barrières reste parfois insaisissable.....	219
1.4 La sûreté d'un réacteur repose également sur d'autres éléments	220
1.4.1 Un réacteur doit être protégé contre les agressions externes.....	220
1.4.2 Les dispositions relatives à la défense en profondeur ne doivent pas être négligées	222
2. Le projet Rubbia se propose de contribuer à une meilleure maîtrise des déchets radioactifs	225
2.1 Le réacteur Rubbia se présente comme un réacteur « propre »	225
2.1.1 Le réacteur Rubbia produit peu d'actinides mineurs.....	225
2.1.2 Le réacteur Rubbia peut éliminer d'autres déchets nucléaires	229
2.2 Le détriment radiologique induit par la filière Rubbia est conditionné par de nombreux autres paramètres.....	233
2.2.1 La filière Rubbia suppose la validation industrielle du procédé de retraitement pyrométallurgique.....	233
2.2.2 Le sort des produits de fission n'est pas véritablement réglé dans la filière Rubbia.....	238
2.2.3 L'arbitrage entre protection radiologique du public et protection radiologique des travailleurs est peut-être moins évident qu'il n'y paraît	239
3. Les autres qualités prêtées au réacteur Rubbia sont moins évidentes	245

3.1 Un réacteur Rubbia n'est ni plus ni moins proliférant que les autres concepts de réacteur.....	245
3.1.1 La protection contre la diversion des matières nucléaires repose sur des solutions classiques	245
3.1.2 Certains éléments d'un réacteur Rubbia peuvent être aisément détournés de leur vocation civile.....	248
3.2 L'intérêt économique du réacteur Rubbia repose sur des hypothèses encore fragiles	249
3.2.1 Les premières évaluations présentées par l'équipe Rubbia sont positives	249
3.2.2 Le bilan économique global doit être replacé dans une perspective plus vaste.....	254
C. L'opportunité de réaliser prochainement une machine pilote reste sujette à caution	255
1. L'équipe Rubbia juge faisable la construction rapide d'un pilote	255
1.1 C. Rubbia a réussi à fédérer autour de lui de nombreuses énergies	256
1.1.1 L'équipe du CERN a su faire fructifier un environnement favorable	256
1.1.2 C. Rubbia souhaite développer une machine pilote.....	257
1.1.3 Un calendrier volontariste pourrait trouver à se concrétiser en Espagne	257
1.2 Des expériences préliminaires ont commencé à justifier la validité de certains concepts.....	260
1.2.1 L'expérience FEAT a montré la réalité de l'amplification d'énergie	260
1.2.2 L'expérience TARC a permis de préciser des grandeurs neutroniques intéressantes.....	261
2. La plupart des acteurs ont adopté une attitude intéressée mais prudente	263
2.1 Certains observateurs sont circonspects sur les chances d'aboutir rapidement	263
2.2 Les agences internationales ont intégré le projet Rubbia à leurs programmes.....	265
2.2.1 L'Agence pour l'Énergie nucléaire de l'OCDE organise la coopération internationale dans le domaine de la séparation-transmutation des déchets	265
2.2.2 L'AIEA anime des actions de veille scientifique et de synthèse	266
2.3 L'Union européenne pourrait contribuer au financement d'une prochaine étape du projet Rubbia.....	268
3. Les acteurs français doivent combiner de multiples enjeux stratégiques	270
3.1 Les efforts des organismes français sont rassemblés sous la bannière de Gédéon.....	270
3.1.1 Le CEA a enfanté ISAAC	271
3.1.2 A travers l'IN2P3, le CNRS s'est résolument engagé dans les recherches sur l'aval du cycle.....	274
3.1.3 En finançant certaines recherches, EDF assume ses responsabilités de producteur de déchets nucléaires.....	276
3.2 Le positionnement face au projet Rubbia relève aussi du jeu de rôle	277
3.2.1 L'IN2P3 se pose en « chevalier blanc » du nucléaire	277
3.2.2 Le CEA hésite encore sur la stratégie à adopter	279
 Quelles perspectives aujourd'hui pour le projet Rubbia ?.....	 282
 RECOMMANDATIONS	 289
 EXAMEN ET ADOPTION DU RAPPORT PAR L'OFFICE PARLEMENTAIRE	 291
 PERSONNALITÉS RENCONTRÉES OU CONTACTÉES	 295

CHAPITRE I

LA REFORME DE LA MAINTENANCE A EDF

Le thème de la maintenance des réacteurs électronucléaires d'EDF n'est pas nouveau pour l'Office parlementaire. En 1991 déjà, j'avais abordé cette question dans l'un des chapitres de mon rapport annuel. L'importance de la maintenance dans les centrales nucléaires avait été soulignée par l'occurrence de deux incidents (Dampierre et Gravelines). Des erreurs commises lors d'opérations de maintenance avaient conduit l'autorité de sûreté à classer les incidents à des niveaux inhabituels sur l'échelle de gravité, non en raison de leurs conséquences directes sur la sûreté des installations concernées mais pour leur signification profonde sur les défauts d'organisation qu'ils révélaient.

EDF avait entrepris un projet de refonte de ses activités de maintenance, inclus dans un vaste plan « qualité » développé au niveau du parc nucléaire et décliné dans les services centraux et les sites.

Il m'apparaît nécessaire de redonner cette année un coup de projecteur sur la maintenance. Le rapport de l'Office en 1991 indiquait que la réforme de la maintenance était un *"processus à long terme"*. Or nous sommes justement arrivés — si les prévisions initiales ont été respectées — au terme de la période de 5 ans définie par EDF comme le délai minimum pour que la réforme fasse sentir sa pleine efficacité.

Par ailleurs l'année 1996 a vu une recrudescence sensible du nombre des incidents significatifs pour la sûreté, remarquée et déplorée par C. FRANTZEN, Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire d'EDF. Il est encore trop tôt pour discerner si cette augmentation est imputable à des défauts constatés lors des activités de maintenance ou aux autres aspects de l'exploitation des réacteurs (conduite...).

Quoiqu'il en soit, EDF est aujourd'hui dans un instant de vérité : l'entreprise doit prouver que les options qu'elle avait présentées il y a bientôt six ans étaient justifiées et efficaces, pas seulement sur le papier mais aussi sur le terrain, dans la pratique quotidienne du management et du geste technique.

Le lecteur assidu, collectionneur impénitent des rapports de l'Office, excusera le bref rappel, dans une toute première partie, des événements qui ont conduit à la réforme de la maintenance. Une législature a passé depuis le rapport 1991 et il n'est peut-être pas

inutile qu'un historique complet soit retracé afin d'éclairer complètement les tenants et les aboutissants de ce chantier.

A. LA MAINTENANCE DES REACTEURS ELECTRONUCLEAIRES AU SEUIL DES ANNEES 90 : LA NECESSITE D'UNE REFORME EN PROFONDEUR

1. LA PRISE DE CONSCIENCE D'UNE SITUATION NON IDEALE

Dès 1988, le rapport annuel d'activité du SCSIN ⁽¹⁾ insistait sur la nécessité de poursuivre les contrôles sur l'organisation des travaux pendant les arrêts de tranche et sur l'importance qu'il convenait d'apporter aux facteurs humains. L'été 1989 est venu donner une confirmation trop éclatante à ces propos prémonitoires. EDF prend conscience alors que la maintenance peut avoir un impact négatif sur la sûreté.

1.1 Les incidents de maintenance de 1989

1.1.1 L'incident de Dampierre-1 (1^{er} août 1989)

Le 1^{er} août 1989, au cours d'une intervention dans le bâtiment réacteur, des agents d'exploitation constatent la présence anormale de deux bouchons sur les tuyauteries du circuit de brassage et de recombinaison de l'hydrogène dans l'enceinte de confinement.

En cas d'accident, l'oxydation des gaines du combustible par la vapeur d'eau à haute température peut conduire à la formation d'hydrogène, donc à un risque d'explosion dans l'enceinte de confinement. Un circuit spécifique assure un brassage de l'atmosphère de l'enceinte et la recombinaison de l'hydrogène. Les deux bouchons étaient en place depuis l'arrêt précédent du réacteur et auraient rendu partiellement inefficace la recombinaison de l'hydrogène après un éventuel accident de perte de réfrigérant primaire.

Cet événement, qui touche les deux voies d'un circuit de sauvegarde, s'était déjà produit sur le réacteur de Bugey-2 en 1987. Il met en évidence les difficultés de l'exploitant à réaliser un suivi correct des interventions, même élémentaires, sur les circuits de sauvegarde. L'incident est classé au niveau 2 de l'échelle de gravité.

1.1.2 L'incident de Gravelines-1 (16 août 1989)

Le 16 août 1989, lors des contrôles préalables au redémarrage du réacteur n°1 de Gravelines, l'exploitant découvre que trois soupapes de sécurité du circuit primaire sont en configuration anormale. Ces soupapes sont destinées à protéger le circuit primaire contre les surpressions incidentelles et accidentelles susceptibles de se produire en fonctionnement, en particulier lors de certains transitoires.

¹ Service central de Sûreté des Installations nucléaires, devenu depuis la DSIN (Direction de la Sûreté des Installations nucléaires).

En juin 1988, lors de l'arrêt annuel du réacteur, des vis pleines ont été montées par erreur au lieu de vis creuses sur les circuits de déclenchement des soupapes. Il s'ensuit que la pression nominale d'ouverture des soupapes n'est plus respectée, donc que le réacteur peut fonctionner dans des conditions de pression excessives. Dès le 18 août 1989, EDF procède à un contrôle systématique des circuits de protection du circuit primaire sur l'ensemble des réacteurs à eau sous pression. Aucune autre anomalie n'est constatée. Une commission d'enquête est mise en place le 21 août par l'exploitant, qui rend ses conclusions le 23 août.

Parallèlement le SCSIN procède à une inspection sur place le 22 août. Cette inspection montre que l'anomalie n'est pas due à une simple erreur humaine mais à plusieurs insuffisances dans l'organisation de la qualité.

Dans son rapport d'activité pour 1990, le SCSIN écrit que *"la durée pendant laquelle le réacteur a fonctionné dans un état de sûreté dégradé et l'importance des enseignements à tirer de cet événement pour la maintenance des systèmes importants pour la sûreté ont conduit EDF et le SCSIN à classer cet événement au niveau 3 de l'échelle de gravité."* Rappelons que, dans l'échelle française de gravité appliquée à l'époque, le niveau 3 était défini comme un *"incident affectant directement la sûreté"*. Cependant l'exploitant parvient à démontrer à l'autorité de sûreté que les pressions modifiées d'ouverture et de fermeture des soupapes incriminées auraient garanti l'intégrité du circuit primaire : *"L'analyse effectuée depuis a montré que ces soupapes étaient néanmoins restées opérationnelles et que la pression primaire n'aurait pas dépassé la pression d'épreuve du circuit, même dans des situations hypothétiques enveloppées (3^{ème} catégorie) prises en compte à la conception. Ceci a conduit EDF à proposer son reclassement au niveau 2 de l'échelle de gravité."* (2) Cette proposition n'a pas été acceptée par l'autorité de sûreté, qui a adopté ici une position extrêmement sévère puisqu'aucune des trois grandes fonctions de sûreté (3) n'a été mise en cause directement.

1.2 Les difficultés de la réponse apportée à court terme

1.2.1 Une réaction vigoureuse de l'autorité de sûreté

Fait relativement inhabituel, les incidents de Dampierre et Gravelines sont jugés par le SCSIN suffisamment significatifs pour que l'intervention de ses deux ministres de tutelle (Industrie et Environnement) soit sollicitée. Le 19 septembre 1989, ceux-ci demandent au Directeur général d'EDF d'engager une analyse critique de l'ensemble de l'organisation et des moyens mis en oeuvre pour assurer la qualité des opérations de maintenance. L'analyse d'EDF doit porter sur :

- l'amélioration de la définition des opérations de maintenance ; les plus importantes d'entre elles doivent être définies au niveau central et appliquées ensuite à l'ensemble du parc ;

² Département de Sûreté nucléaire (EDF-EPN), *Bilan 1989 de la sûreté nucléaire en exploitation*, juillet 1990.

³ Les trois fonctions de sûreté sont : 1/ la maîtrise de la réactivité ; 2/ l'évacuation de la puissance résiduelle ; 3/ le confinement des matières radioactives.

- le renforcement de la préparation et du suivi des opérations confiées à des prestataires lors des arrêts de tranche ;
- l'amélioration de la rapidité et de l'exhaustivité de la correction des erreurs mises en évidence par l'expérience acquise (notion de « retour d'expérience ») ;
- le renforcement du poids des structures destinées à assurer la sûreté à l'intérieur des centrales.

Pour la période transitoire précédant la mise en oeuvre de ces actions, le SCSIN demande que lui soient proposées des mesures à court terme (« mesures compensatoires ») applicables dès le 1^{er} janvier 1990. La première réaction à court terme d'EDF est une série d'engagements qui se développent dans trois directions :

- des décisions immédiates : elles prévoient notamment l'obligation de requalifier les systèmes de sécurité après opérations d'entretien et avant redémarrage, afin de détecter d'éventuelles erreurs avant qu'elles n'aient de conséquences pour la sûreté de la centrale ;
- la définition des mesures compensatoires : EDF fournit à l'autorité de sûreté au début de l'année 1990 une liste des mesures compensatoires à mettre en oeuvre lors des arrêts de tranche de 1990 ;
- la préparation d'une réponse de fond, la « réforme de la maintenance » : par lettre du 5 octobre 1989, le directeur général d'EDF s'engage à présenter au SCSIN avant la fin 1989 les thèmes d'actions retenus et pour la fin du premier semestre 1990 la définition et le programme des actions correspondantes ; de plus, la réforme s'inscrit dans le processus de décentralisation engagé par ailleurs au sein du parc nucléaire : chaque site construira son propre plan d'actions, dans le cadre général fixé par la direction du parc.

1.2.2 Les mesures compensatoires, première réponse concrète d'EDF

Ces mesures compensatoires comportent quatre volets : l'amélioration de la culture de sûreté des intervenants, l'organisation de la maintenance, la qualité des dossiers d'intervention, le contrôle et le suivi des opérations.

Pour les intervenants des sites mêmes, l'amélioration à court terme de la culture de sûreté passait par des sensibilisations ponctuelles aux exigences de qualité préalablement aux arrêts (détection des non-conformités de matériels et traitements associés, direction des travaux...), par la définition plus précise de la mission de contrôleur de travaux, et par la prise en compte dans les plans-types de formation des formations spécifiques Qualité-Sûreté pour les agents de maintenance.

Pour les intervenants extérieurs aux sites, une démarche en plusieurs étapes était définie : 1/ sensibilisation des responsables prestataires (mise en place de réunions annuelles et/ou avant chaque arrêt de façon systématique) ; 2/ sensibilisation des agents extérieurs avant intervention (notification correcte des travaux, accueil et contrôle de la

qualité des intervenants, contrôle de la sous-traitance...); 3/ systématisation des réunions d'enclenchement ⁽⁴⁾ (servant en particulier à la validation des dossiers d'intervention); 4/ mise en oeuvre d'un bon retour d'expérience national et local (rédaction et instruction de fiches de synthèse Prestataires, avec action de correction rapide en cas de dysfonctionnement flagrant, enquêtes des MSQ sur le terrain, etc.).

Les évolutions dans l'organisation de la maintenance sont assez multiples : création sur les sites de cellules d'arrêt permanentes avec participation d'un ISR ⁽⁵⁾ détaché, de commissions de redémarrage, mise en place d'IEM (Ingénieurs experts Matériels) et d'ISM (Ingénieurs Sécurité-Maintenance) dont le rôle est de favoriser l'analyse en groupe des incidents de maintenance et d'animer la mise en place d'actions transverses pour améliorer la qualité.

Une meilleure qualité des dossiers d'intervention passe par des plans Qualité pour les opérations de maintenance, avec une priorité accordée aux systèmes de sauvegarde du réacteur. Les documents doivent préciser la définition des points d'arrêt en intervention. Les efforts portent également sur la gestion des DMP ⁽⁶⁾ et des requalifications.

Enfin les dispositions visant à améliorer le contrôle et le suivi doivent porter à la fois sur les activités pratiquées par les prestataires extérieurs et celles pratiquées par les « prestataires internes » d'EDF. Elles peuvent s'intéresser au traitement spécial des non-conformités et anomalies apparaissant en dehors des contrôles non destructifs réalisés par le GDL ⁽⁷⁾. Un bilan final d'intervention est souhaité, ainsi qu'un traitement en temps réel des comptes rendus d'intervention.

1.2.3 Des résultats peu probants

Cependant, le 3 octobre 1990, près d'une année après l'intervention des ministres, le SCSIN est amené à relancer EDF pour que l'exploitant renforce les actions mises en oeuvre, en particulier dans les domaines du traitement des anomalies, du contrôle des travaux, des interventions sur les matériels redondants, des requalifications et de la gestion des outillages provisoires utilisés durant l'arrêt d'un réacteur. Deux raisons justifient cette deuxième intervention du SCSIN :

- le 5 septembre 1990, un nouvel incident sur Dampierre-1 montre que perdurent les carences dans les opérations de requalification des matériels, déjà mises en évidence à l'été 1989 ;

⁴ Préalable souhaitable à toute intervention, la réunion d'enclenchement rassemble le chef de chantier, les chefs de travaux, les préparateurs, les contrôleurs de travaux, des représentants de la Mission Sécurité-Qualité (MSQ), etc. Elle a pour objet de faire le point avant le début d'un chantier déterminé afin, en particulier, de bien coordonner les interventions des diverses équipes et de valider les dossiers et les supports exécutoires des interventions.

⁵ Ingénieur Sécurité-Radioprotection.

⁶ Les DMP (Dispositions et Moyens particuliers) sont tous les matériels provisoires utilisés à l'occasion des interventions, qui doivent impérativement être retirés à la remise en service de ces matériels et du réacteur.

⁷ Le GDL (Groupement des Laboratoires) est un service central de l'Exploitation du Parc nucléaire chargé d'effectuer ou d'assurer la maîtrise d'ouvrage des contrôles non destructifs pratiqués sur les matériels des centrales.

- de façon générale, les synthèses transmises au SCSIN par l'Inspection nucléaire d'EDF (avril 1990 et juillet 1990) montrent que, si toutes les centrales ont bien pris conscience des progrès à réaliser, les mesures compensatoires ne sont appliquées en moyenne qu'à moins de 50% à la fin du 1^{er} semestre 1990 ; cette évaluation est confirmée ultérieurement dans la synthèse de décembre 1990, qui estime que les mesures compensatoires sont appliquées en moyenne à 50% seulement sur les sites inspectés.

Par ailleurs, le SCSIN décide d'inscrire cette question de la maintenance à l'ordre du jour du Conseil supérieur de la Sécurité et de l'Information nucléaires, sous l'intitulé plus général de *"amélioration de la sûreté nucléaire en exploitation"*. Deux séances du Conseil sont consacrées à l'examen de ce dossier, le 28 novembre 1990 et le 19 février 1991. L'avis du Conseil est adopté lors de cette dernière séance.

Au début de 1991, EDF répond à la demande du SCSIN en s'engageant sur deux points : 1/ toutes les mesures compensatoires annoncées au début de 1990 devront être intégralement mises en oeuvre en 1991 ; 2/ des actions complémentaires seront réalisées, dont le détail figurera dans les plans d'action élaborés par chaque site.

La vigueur de la réaction initiale de l'autorité de sûreté, traduite entre autres par la sévérité du classement au niveau 3 de l'incident de Gravelines, s'est trouvée ainsi confortée *a posteriori*. Le SCSIN comme EDF ont pris conscience que les incidents de 1989 ne sont pas des cas isolés mais révèlent des carences beaucoup plus profondes dans l'organisation de la qualité des opérations de maintenance. Il n'est donc pas anormal que les mesures compensatoires définies pour le court terme se soient avérées délicates à mettre en oeuvre.

2. LA REPONSE DE FOND DE L'EXPLOITANT : LE RAPPORT DU GROUPE AD HOC SUR « L'AMELIORATION DE LA SURETE NUCLEAIRE EN EXPLOTTATION »

2.1 La mission du groupe *ad hoc*

Par lettre du 12 septembre 1989, le directeur général d'EDF demandait au chef du Service de la Production thermique (SPT) *"d'engager une réflexion approfondie sur les mesures de nature à permettre un progrès significatif en matière de sûreté des installations"*. Les pistes de réflexion suggérées concernaient la clarté et la simplification des organisations, le professionnalisme des agents et le rôle déterminant de la hiérarchie dans l'acquisition de la culture de sûreté.

Dans une lettre de mission du 10 octobre 1989, le chef du SPT chargeait un groupe de travail *ad hoc* d'établir un plan d'action détaillé pour la fin du premier semestre 1990, avec pour objectif de *"réduire la probabilité d'accidents graves notamment par une diminution importante de la fréquence des incidents de niveau inférieur"*. Les orientations concernaient l'analyse critique de l'ensemble de l'organisation en termes de structures et de moyens, le développement d'un professionnalisme de sûreté et la responsabilisation des agents dans le cadre d'une définition claire des responsabilités de chacun.

Sans tomber dans un travers exégétique forcené, il est intéressant de comparer les termes de ces deux lettres, ainsi que ceux de la lettre des ministres au directeur général d'EDF :

- l'objectif final poursuivi par les ministres (amélioration de la qualité de la maintenance) était moins large que celui fixé par le directeur général (un *"progrès significatif en matière de sûreté des installations"*) ; le chef du Service de la Production thermique a pour sa part traduit ces orientations par un objectif *formellement quantifiable* : la réduction de la probabilité d'accident grave par la réduction de la fréquence des incidents mineurs ; le glissement progressif de la perspective me paraît remarquable ;
- l'accent était mis dans la lettre des ministres sur le renforcement des moyens de soutien, de suivi et de contrôle hiérarchique des échelons d'exécution ainsi qu'un renforcement identique pour les structures de sûreté et d'organisation de la qualité dans les centrales ; la lettre du directeur général d'EDF se place dans une optique beaucoup plus « managériale » (simplification des organisations, référence au professionnalisme, mention de la culture de sûreté) ; dans ses suggestions le chef du SPT combine ces deux domaines.

2.2 Le déroulement des travaux du groupe *ad hoc*

B. NOC, alors chef de la mission Sûreté nucléaire auprès de la direction du Parc et animateur du groupe *ad hoc*, a donné son nom au rapport final du groupe.

2.2.1 Le rapport NOC s'est inscrit dans le prolongement de réflexions antérieures ou parallèles

Dans ses analyses et ses réflexions, le groupe *ad hoc* s'est appuyé sur les conclusions de trois autres groupes de travail, plus spécialisés, qui avaient abouti à la fin de l'année 1989. La mission « Effectifs », pilotée par l'Inspecteur général pour la sûreté nucléaire, avait essentiellement conclu que :

- les orientations prioritaires, dans le domaine de la maintenance en particulier, devraient porter plus sur la qualité des hommes et sur l'organisation des activités que sur le volume des effectifs ;
- cependant des effectifs complémentaires pourraient être dégagés dans les équipes de préparation ou dans les structures d'arrêt de tranche par exemple ; en effet il apparaît que certaines tâches indispensables à la qualité ne sont pas remplies faute de temps ;
- le rôle et les moyens des missions sûreté-qualité devraient être accrus et étendus au domaine de la maintenance.

Constituée elle aussi en réponse aux incidents de Dampierre et de Gravelines, la mission « Facteurs humains » avait pour objet d'analyser les événements survenus sur le parc pendant l'année 1989, à la lumière de la grille « facteurs humains » et dans le cadre

d'une opération nationale de retour d'expérience. Le rapport final de la mission mettait en évidence plusieurs traits communs aux incidents analysés :

- la plupart de ces incidents trouvent leur origine dans des interventions de maintenance (ce qui ne veut pas dire qu'il ne reste pas de progrès à faire en conduite et en automatismes) ;
- plusieurs de ces incidents sont dûs à l'introduction de défaillances de mode commun par des interventions transverses sur des matériels redondants ;
- les contrôles restent souvent faibles, que les travaux soient effectués par du personnel EDF ou par des entreprises extérieures ;
- les gammes d'intervention présentent des défauts ou des inadaptations ; elles sont parfois imprécises sur les vérifications à effectuer ;
- il n'y a pas de vue d'ensemble des interventions (qui doit faire quoi ? qui a fait quoi ? que reste-t-il à faire ?) entre le début des travaux et la requalification des équipements ou le contrôle qualité de fin de travaux.

La mission « Facteurs humains » estimait en outre que : 1/ les incidents de Gravelines, Dampierre et Flamanville ne doivent pas masquer une tendance de fond en progrès ; 2/ la réglementation sûreté-qualité évolue plus vite que son intégration dans les pratiques ; 3/ l'arrêt de tranche est générateur d'une forte tension ; 4/ les mots d'ordre ont du mal à se traduire dans les actes ; 5/ le développement du professionnalisme est une approche à approfondir.

En conséquence la mission « Facteurs humains » recommandait qu'EDF retienne comme actions principales :

- une meilleure prise en compte de la sûreté dans les pratiques grâce notamment à un travail de terrain de la hiérarchie opérationnelle ;
- la vérification par la conduite de la bonne position du matériel avant remise en fonctionnement ;
- la mise en place d'une organisation efficace du contrôle des travaux.

Enfin un groupe commun entre la Direction de l'Équipement et le Service de la Production thermique se consacrait à l'« Exhaustivité des requalifications des circuits de sauvegarde ». Ses conclusions ont été présentées aux instances dirigeantes d'EDF en décembre 1989 et s'articulent sur 3 axes :

- certains essais de requalification fonctionnelle sont à réaliser au redémarrage après arrêt pour rechargement sur les circuits de sauvegarde ; en particulier l'essai de manoeuvrabilité des soupapes SEBIM est demandé après tout passage en état d'arrêt à froid pour intervention ;

- des contrôles complémentaires en local sont à intégrer en tant que points d'arrêt dans les gammes d'intervention ;
- de nouvelles dispositions de gestion des DMP utilisés sur les circuits de sauvegarde doivent être mises en place.

2.2.2 Le rapport NOC s'est efforcé de faire remonter l'expérience du terrain

Le groupe de travail remet un rapport d'étape à la fin de l'année 1989. Il y procède à une analyse serrée des causes profondes des dysfonctionnements constatés les mois précédents et précise les domaines « sensibles » dont il convient d'examiner les lacunes ; ces domaines concernent : 1/ l'organisation ; 2/ les activités de contrôle ; 3/ la qualité des acteurs et le comportement individuel et collectif ; 4/ la formation et la culture de sûreté ; 5/ les supports techniques aux centrales. L'objectif poursuivi consiste à rechercher une amélioration de fond de l'ensemble des facteurs qui sont à la base de la qualité et de la sûreté d'exploitation des réacteurs nucléaires.

Chacun des domaines recensés a été pris en charge par un sous-groupe, qui s'est adjoint les services et conseils de représentants extérieurs, en particulier issus des centrales, de façon à avoir une vision aussi proche que possible du terrain. Par ailleurs, pour éclairer certains domaines examinés (mission de contrôleur technique, élaboration de plans qualité), le groupe *ad hoc* a demandé à la CEGOS de lui faire part des enseignements qu'elle tirait de ses observations lors de quatre arrêts de tranche effectués au premier trimestre 1990. Cette société avait été choisie en raison de ses compétences acquises dans ces domaines dans d'autres industries (pétrochimie, aviation).

2.2.3 Le rapport NOC a dressé un constat sans complaisance

1. Le groupe *ad hoc* constate d'abord la complexité de l'organisation générale des sites nucléaires (CNPE et « centrales » sur les sites à 4 tranches) et de son mode de fonctionnement en relation avec les intervenants extérieurs (EDF et prestataires). Elle ne permet pas une définition claire des responsabilités des différents acteurs vis-à-vis de la maîtrise de la qualité de certaines activités importantes pour la sûreté. C'est le cas par exemple de la préparation des interventions, de l'exécution et de l'analyse des résultats des opérations de maintenance, ainsi que de l'interface entre maintenance et conduite. Le groupe relève ensuite que dans ce contexte, l'introduction par étapes successives de l'organisation de la qualité n'a pas permis de porter remède aux principales faiblesses découlant des organisations en place : parcellisation des tâches, manque de maîtrise du temps pour la réflexion, difficulté de saisir la finalité des tâches, démotivation des acteurs.

2. Les activités de contrôle doivent s'exercer en référence à l'arrêté Qualité de 1984. Celui-ci prévoit différents niveaux et diverses modalités de contrôle vis-à-vis des activités importantes pour la sûreté, que celles-ci soient exercées par les agents EDF du site, par les agents d'organismes EDF extérieurs au site (« prestataires EDF ») ou par les agents des prestataires extérieurs à qui sont confiés des chantiers, des interventions de maintenance ou de modification sur des matériels IPS. Il apparaît que les notions de contrôle technique, de vérification et de surveillance ne sont, d'une manière générale,

pas intégrées avec suffisamment de clarté aux actions des sites, suivant des modalités bien adaptées et bien comprises par les agents, en particulier à la maintenance.

3. La qualité des acteurs et le comportement individuel et collectif sont largement perfectibles. Si la volonté de bien faire des personnels n'est pas en cause, il apparaît que le niveau culturel d'une partie du personnel technique n'est pas adapté à l'enjeu vis-à-vis de la sûreté pour les tâches qui leur sont confiées, indique le groupe *ad hoc*. Selon lui ce fait est accentué par certaines pratiques de recrutement et d'évolution de carrière et illustré par la difficulté de nommer certains agents dans certains postes en respectant tous les critères d'habilitation nécessaires. En relation avec les problèmes d'organisation évoqués précédemment, on peut déplorer un manque de présence de la hiérarchie opérationnelle sur le terrain, permettant de faire comprendre aux personnels concernés les enjeux de leur activité en terme de qualité et de sûreté, en toute occasion où les agents sont réceptifs, c'est-à-dire lors de leurs interventions sur le terrain. Enfin le groupe *ad hoc* remarque qu'il est généralement constaté que la plupart des agents ont peu appris à travailler en groupe et à résoudre les problèmes de façon méthodique.

4. Si la culture de sûreté a pu, notamment grâce à la formation, pénétrer de façon significative les métiers et les activités de la conduite, il n'en a pas été de même pour les métiers de la maintenance, estime le groupe *ad hoc*. Ces deux catégories de métiers sont en effet très différentes, y compris dans la perception des enjeux vis-à-vis de la sûreté et la culture de sûreté ne peut être dispensée aux intéressés et vécue par ceux-ci de la même manière. Cela apparaît nettement lorsqu'on s'intéresse aux activités de préparation, de contrôle et de surveillance, qui nécessitent non seulement une formation professionnelle adaptée mais également une pénétration de la culture Sûreté-Qualité fondée sur une connaissance minimale des risques et des enjeux associés à l'exercice du métier et sur une « mise en situation » par des exercices appropriés.

5. Enfin le groupe *ad hoc* relève que le soutien technique aux centrales est peu efficace. Dans le domaine de l'analyse des incidents ou anomalies, il estime que règne une certaine confusion entre le traitement de premier niveau — du ressort des sites — et celui de deuxième niveau pour les problèmes génériques complexes — du ressort des services centraux du SPT. Par ailleurs les doctrines élaborées par les services centraux (sur la maintenance et la qualité) sont jugées parfois peu compréhensibles par les sites et leur caractère exécutoire insuffisamment précis. De plus certaines décisions prises en temps réel par les services centraux sur des problèmes génériques, en particulier lors des arrêts de tranche, constituent par la suite des éléments de la doctrine technique du service. Ces décisions ne sont cependant pas toujours notifiées aux sites par un niveau habilité et les implications d'exécution apparaissent insuffisamment prises en compte. Enfin, dans le domaine de l'assistance en temps réel, les relations entre les sites et les services centraux ne sont pas suffisamment formalisées.

2.2.4 Le rapport NOC a fourni un socle d'actions important

La réorganisation des sites doit obéir à cinq principes fondamentaux, pour les guider dans l'élaboration de leurs plans d'action : 1/ la responsabilisation des managers par l'extension des délégations associées à l'assistance et la vérification des MSQ ; 2/ la simplification des lignes hiérarchiques et la clarification des responsabilités ; 3/ la

réduction de la parcellisation des tâches et du nombre d'interfaces, grâce à la simplification des circuits et la mise en oeuvre d'une « multicom pétence » ; 4/ la maîtrise des opérations par les sites, sous tous leurs aspects (en particulier techniques) ; 5/ le placement des prestataires au plus près des utilisateurs.

Compte tenu de ces principes, les recommandations du rapport NOC, qui peuvent être assimilées à des engagements d'EDF, sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Recommandations du rapport NOC

- Organisation générale des sites
 - une ingénierie de maintenance étudie et détermine les choix locaux de maintenance
 - les interventions des prestataires extérieurs sont soumises à un contrôle technique systématique, si possible par un même agent depuis la préparation jusqu'à l'analyse *ex post*
 - les services opérationnels prennent en charge le suivi et la réalisation des modifications
 - la MSQ vérifie sur le terrain les organisations et les actions dans les domaines de la conduite, de la maintenance et de la formation
- Organisation spécifique des arrêts de tranche
 - une structure permanente d'arrêt de tranche anticipe et planifie l'arrêt
 - une structure hors-quart assure l'interface du service Conduite avec les autres acteurs de l'arrêt
 - les chargés d'affaires pilotent de bout en bout leurs affaires
 - une Commission d'arrêt de tranche vérifie le respect des exigences de sûreté, en particulier lors des changements d'état
- Activités de contrôle
 - les exigences de l'arrêté Qualité doivent être bien comprises
 - le contrôle structure les relations de travail
 - le PQS (Plan Qualité-Sûreté) formalise les exigences de qualité pour une intervention
 - le contrôleur de travaux s'appuie sur le PQS pour surveiller et contrôler
 - la MSQ conseille et vérifie la qualité globale de l'organisation et du programme
- Qualité des acteurs et comportements
 - le niveau de recrutement doit être progressivement élevé
 - les critères d'habilitation pour le grément des postes de responsabilité doivent être respectés
 - la hiérarchie doit être présente sur le terrain
 - le travail en groupe doit être développé
- Culture de sûreté et formation
 - la culture de sûreté doit être déclinée de façon spécifique pour les métiers de maintenance
 - la formation des personnels de maintenance comporte 3 volets : formation de base aux enjeux de sûreté-qualité, formation technique, formation spécifique aux métiers de préparation
- Soutien technique aux centrales
 - les sites doivent se recentrer sur l'analyse de 1^{er} niveau, les services centraux sur le 2^{ème} niveau
 - les services centraux doivent solliciter les sites pour élaborer les doctrines EDF
 - les services centraux doivent veiller à la bonne compréhension des doctrines par les sites
 - l'interface services centraux / sites doit être améliorée et mieux formalisée

Le rapport du groupe *ad hoc* constitue la réponse de fond d'EDF aux observations et demandes de l'autorité de sûreté. Son contenu a été complété par la suite pour former ce qu'il est convenu d'appeler aujourd'hui la « démarche Sûreté Maintenance ».

Je ne peux terminer ce bref rappel « historique » sans reproduire ici un passage du *Bilan 1989 de la sûreté nucléaire en exploitation*, établi par le Département Sûreté nucléaire d'EDF. *« Une autre leçon doit être tirée de l'année 1989. Une analyse probabiliste a priori aurait sans doute montré que les événements de Gravelines, Dampierre, Flamanville étaient acceptables avec un taux de probabilité faible. Ces événements ont eu lieu. La réaction des Autorités de Sûreté et d'EDF a été unanime pour conclure que ces événements étaient inacceptables. L'analyse de sûreté est basée sur l'acceptation d'un risque à condition que la probabilité d'occurrence d'un événement soit d'autant plus faible que les conséquences sont plus graves. Une fois la centrale mise en service, ces risques « admissibles » au départ ne le sont plus, tout doit être mis en oeuvre pour les éviter. C'est le nouveau challenge imposé à l'exploitation des centrales aujourd'hui : viser le zéro défaut d'exploitation, c'est-à-dire s'approcher aussi près que possible de la perfection. Le progrès n'est plus seulement une ambition d'efficacité, il devient une condition indispensable à l'exploitation des tranches. »* Il me semble que le message n'a pas pris une ride.

Fruit de l'expérience de terrain et d'une réflexion menée avec du recul, la démarche Sûreté-Maintenance vise à *« mieux intégrer la sûreté dans les activités de maintenance, en particulier pendant l'arrêt de tranche, maîtriser la qualité des interventions, optimiser le contenu des arrêts »* (Exploitation du Parc nucléaire, rapport annuel 1994). Il s'agit donc désormais, au-delà des mesures « techniques » proposées par le rapport NOC, d'établir une réforme ambitieuse en agissant sur les multiples leviers de l'entreprise.

B. LA DEMARCHE SURETE-MAINTENANCE, UN DISPOSITIF AMBITIEUX ET COMPLEXE QUI SE HEURTE PARFOIS AUX RIDIGITES DE L'ENTREPRISE

Les actions engagées dans le cadre de la démarche Sûreté-Maintenance peuvent être lues à travers des prismes variés, tant sont multiples les logiques qui s'entrecroisent autour du process : la production d'électricité d'origine nucléaire. Certaines de ces actions peuvent être regroupées à la lumière du mouvement plus général qui a saisi de larges pans de l'industrie depuis plusieurs années : le recentrage sur le métier de base, assorti d'un fort développement des relations avec les prestataires externes. D'autres actions relèvent plus spécifiquement du métier de producteur d'électricité d'origine nucléaire, qui accomplit l'essentiel de la maintenance pendant les arrêts de tranche.

C'est au travers des entretiens conduits tout au long de cette année, comme des documents que j'ai pu rassembler et de mon expérience sur le terrain à Saint Alban, que je présenterai ici la « matière » de la démarche Sûreté-Maintenance.

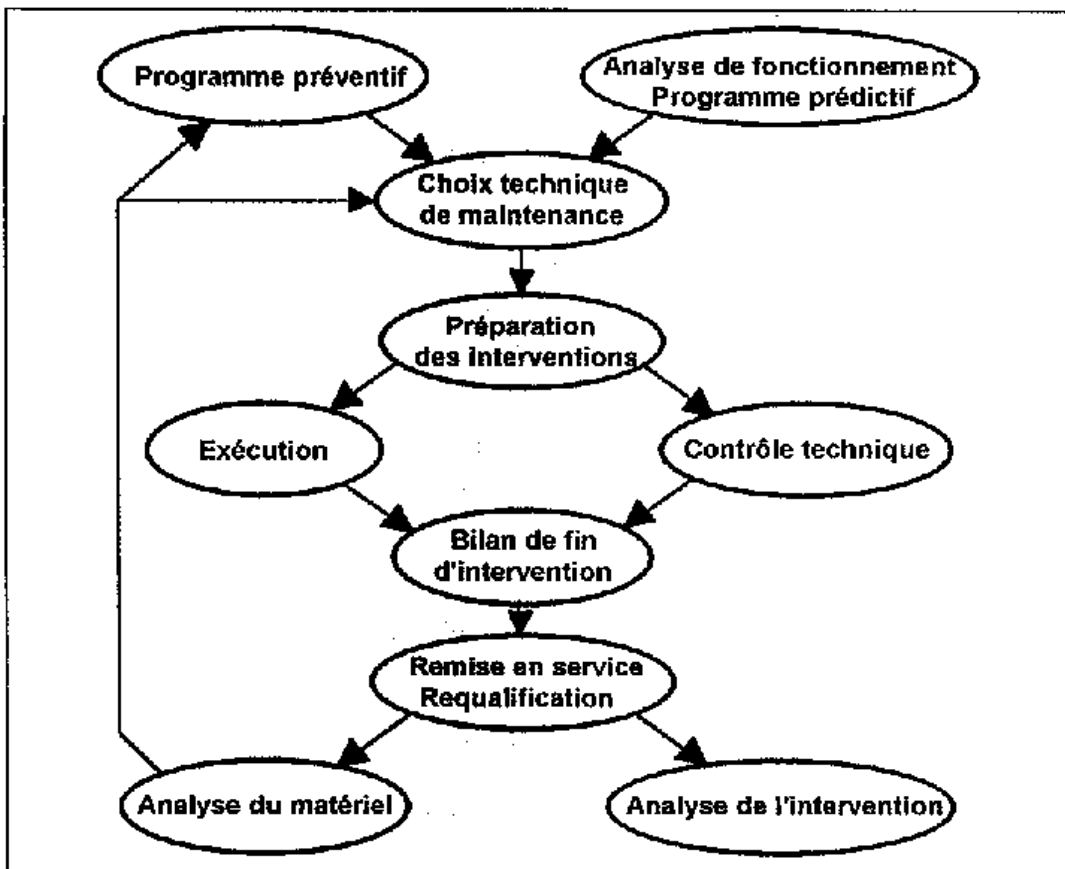
Je tiens ici remercier à nouveau la Direction de l'Exploitation du Parc nucléaire, l'Inspection nucléaire (que j'appellerai IN par la suite) et la direction du CNPE de Saint

Alban pour m'avoir permis d'assister de l'intérieur à la vie d'une centrale pendant un arrêt de tranche et pendant une évaluation de sûreté. Les renseignements que je serai amené à présenter dans les pages suivantes ne doivent pas être assimilés à des jugements autorisés sur Saint Alban ; ils relèvent seulement de l'opinion, de l'impression que peut ressentir sur le terrain un oeil extérieur. Il va de soi qu'ils n'engagent en aucune manière EDF en général ou l'Inspection nucléaire en particulier — que je ne m'abstiendrai pas de citer cependant.

1. LE RECENTRAGE SUR LA MAITRISE D'OUVRAGE

1.1 L'analyse des actions de maintenance a montré où faire porter les efforts

Enchaînement des actions de maintenance



source : rapport NOC, 1990

Dans l'annexe 1 du rapport NOC, le sous-groupe de travail chargé de l'organisation générale des sites nucléaires s'est livré à un recensement des actions élémentaires de maintenance typiquement nécessaires à la réalisation d'une intervention donnée, en suivant ce qui pouvait être retenu comme déroulement chronologique. Une intervention de maintenance était ainsi décomposée en près de 50 actions élémentaires, allant de l'analyse de 2^{ème} niveau des incidents de matériel (dans la phase préliminaire) au retour d'expérience sur le contrat passé avec le prestataire (dans la phase finale), en passant par l'étude de l'historique du matériel, le diagnostic des défaillances, le choix des outillages adaptés au mode opératoire, la clarification du cadre contractuel de l'intervention,

l'accueil des intervenants extérieurs, l'ouverture du chantier, etc. Chacune de ces activités élémentaires était rapportée à une catégorie : analyse du matériel, analyse de fonctionnement, choix technique de maintenance, préparation de l'intervention, exécution, contrôle technique, bilan de fin d'intervention, remise en service et requalification, analyse de l'intervention.

L'analyse de l'enchaînement des actions de maintenance conduit en fait à distinguer deux types d'activités, relevant de deux niveaux de réflexion ou de réalisation différents : 1/ le choix technique de maintenance, en y intégrant les aspects « sûreté » et « économie » ; 2/ la préparation, le contrôle technique, le bilan et l'analyse de l'intervention. Le renforcement des capacités d'ingénierie sur les sites fait partie des priorités mises en avant en 1990, de même que l'identification et la hiérarchisation des risques, ainsi qu'une redéfinition du champ des activités de contrôle.

1.2 L'ingénierie de maintenance renforce les capacités d'analyse sur les sites

1.2.1 L'ingénierie de maintenance doit orienter les choix locaux de maintenance

Comme l'indique le rapport annuel Exploitation du Parc nucléaire 1992, *“dans tous les domaines, la capacité d'analyse et d'anticipation (capacités stratégiques) est un enjeu capital : il s'agit de mieux penser l'outil, sa fonction, son évolution, dans un environnement qui change, et d'intégrer les éléments fondamentaux de sûreté, de technique, de coûts, de ressources humaines et de communication pour être plus performant. Sur les sites, une capacité d'analyse beaucoup plus développée est nécessaire, environ 500 personnes pour le parc.”*

La nécessité de faire des choix de maintenance réfléchis, s'appuyant sur les programmes de base mais aussi sur la prise en compte du vécu local et de l'historique du matériel installé et exploité sur le site, a amené EDF à décider la mise en place d'une ingénierie de maintenance sur les sites. Celle-ci doit définir la nature et le programme des travaux à effectuer en arrêt de tranche et avoir constamment un bilan de l'état des matériels pour pouvoir prendre, en cas de besoin, des décisions de maintenance en connaissance de cause.

L'ingénierie de maintenance a donc pour mission :

- d'analyser l'application des programmes de base de maintenance préventive (PBMP) aux matériels du site pour les arrêts de tranche ;
- d'intégrer le retour d'expérience résultant des interventions précédentes sur ces matériels, mais aussi des incidents ou des anomalies rencontrées pendant les interventions (analyse de 1^{er} niveau) ;
- de transmettre ce retour d'expérience vers les services centraux d'EDF pour pouvoir faire évoluer les doctrines de maintenance établies par ces services centraux, concrétisées dans les PBMP ;
- de prendre en compte les informations résultant de l'analyse du fonctionnement des matériels, qui permet d'effectuer sur ceux-ci de la maintenance prédictive ;

— d'intégrer les contraintes de sûreté et de prendre en compte les aspects technico-économiques des décisions de maintenance.

Le rapport NOC avait évalué les moyens nécessaires pour réussir la transition vers les organisations-cibles qu'il avait définies. C'est ainsi que l'ingénierie de maintenance électromécanique proprement dite devait être constituée de 4 à 6 ingénieurs (ou agents de niveau ingénieur) répartis par domaine (machines tournantes, robinetterie, échangeurs-capacités, circuit primaire). Hors de l'ingénierie de maintenance, les activités relevant des automatismes pouvaient directement s'adjoindre 1 ou 2 ingénieurs, compte tenu de leur proximité avec la fonction de production.

1.2.2 L'ingénierie de maintenance s'est installée progressivement

La mise en place des ingénieries de maintenance a été graduelle. En 1990 l'autorité de sûreté avait d'ailleurs pu s'irriter un peu de ce qu'EDF n'ait pas « spontanément » fixé de calendrier précis et de moyens quantifiés ; mais dès le début 1991 ces défauts de lancement avaient été rectifiés... Ainsi le bilan établi en 1991 montrait que *"une dizaine de sites disposent d'un ou plusieurs Ingénieurs Experts Matériels⁽⁸⁾ en charge d'une analyse des événements relatifs aux actions d'entretien et de contrôle des équipements et du retour d'expérience vers les entités de maintenance de leur unité. La mise en place formalisée d'une ingénierie de maintenance devrait être effective, pour environ la moitié des sites, fin 1992."*⁽⁹⁾ Il ne s'agissait pas encore, on le voit, d'une véritable ingénierie au sens propre du terme ; l'Inspection nucléaire estimait cependant que *"les Ingénieurs Experts Matériels déjà en place jouent un rôle efficace pour l'amélioration de sûreté dans ce domaine de la maintenance"*⁽¹⁰⁾. En conclusion de son appréciation sur l'état d'avancement de la démarche Sûreté-Maintenance, le *Bilan 1992 de la Sûreté nucléaire en Exploitation* indiquait pour sa part que *"il est également important de poursuivre activement le développement de l'ingénierie de site, au fur et à mesure du dégagement des moyens nécessaires."*

Le grément des ingénieries s'est poursuivi les années suivantes, après que 1992 a vu l'achèvement des réflexions des sites sur leurs missions, leurs structures et les conditions de leur mise en place. Les ingénieries de maintenance sont essentiellement constituées des anciens Ingénieurs Experts Matériels, renforcés sur certains sites par des techniciens issus de la préparation. Aujourd'hui les ingénieries de site comptent près de 300 personnes⁽¹¹⁾, appuyées par autant dans les services centraux. Comme me disait P. CAILLOL lors d'une réunion de travail tenue à l'EPN le 20 novembre dernier : *"l'ambition en matière de compétences consiste à faire de véritables ingénieries et pas seulement des préparations « relookées ». Il faut donc faire un bon mélange entre les ingénieurs et les autres personnels (après formation)."*

⁸ La mise en place d'Ingénieurs Experts Matériel était l'une des mesures compensatoires préconisées par EDF en réponse rapide à l'autorité de sûreté.

⁹ Voir *Bilan 1991 de la sûreté nucléaire en exploitation*, EDF-DSN, 1992, p. 65.

¹⁰ *Synthèse sur la mise en oeuvre des mesures compensatoires et des plans d'actions Sûreté-Maintenance au 2^{ème} semestre 1991*, Inspection nucléaire, décembre 1991 (document interne d'EDF).

¹¹ Il s'agit ici des effectifs totaux d'ingénierie, qui comprennent également les ingénieries de conduite par exemple.

Conformément à la politique de décentralisation du parc de production, il revenait aux sites nucléaires de définir leur organisation, compte tenu des objectifs fixés par la direction du parc. Certains sites ont retenu la solution d'une ingénierie centralisée avec des chefs de mission (dans le comité de direction du site) ou de service (Cruas, Penly), d'autres ont préféré répartir les compétences (et les moyens afférents) dans les différents services existant déjà (Fessenheim, Golfech) avec une animation par le chef de Mission technique au sein du comité de direction. Dans son rapport 1994, P. TANGUY, alors Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire à EDF, estimait à juste titre que *"l'important [...] réside dans le maintien de cette activité de réflexion pluridisciplinaire, dans son contact avec les acteurs opérationnels de terrain et dans la qualité de son animation."*

Au demeurant la mise en place effective des ingénieries de sites a été l'occasion d'une première évolution significative entre les recommandations du rapport NOC et les solutions finalement retenues sur le terrain : contrairement à ce qui était envisagé au départ, les ingénieries de maintenance et les ingénieries de conduite ont la plupart du temps été regroupées. L'IPSN a considéré cette évolution comme favorable, puisqu'elle contribue notamment à l'amélioration de l'interface entre la conduite et la maintenance.

A Saint Alban un noyau dur de compétences d'ingénierie a été regroupé au sein du Service Ingénierie-Modifications-Travaux neufs. Ce service est placé sous l'autorité conjointe de deux responsables issus respectivement du CNPE et du Centre d'Ingénierie générale (CIG), unité appartenant à la Direction de l'Équipement. Le service IMT a en effet la charge :

- des ingénieries de maintenance, de fonctionnement et d'essais, qui relèvent des compétences de l'exploitant nucléaire, donc exercées par le CNPE ;
- des ingénieries de modifications et travaux neufs, qui relèvent des compétences du concepteur-constructeur nucléaire, donc exercées par la Direction de l'Équipement.

Le service IMT a également pour mission la gestion des modifications (leur suivi technique est en effet assuré par l'exploitant nucléaire, maître d'ouvrage), la recherche d'innovations et d'améliorations, les prestations VIPE, la contribution à une bonne maîtrise des activités techniques nouvelles.

Pour l'effectif relevant du CNPE, on relève 4 ingénieurs chargés respectivement des automatismes-électricité, des machines tournantes, des machines statiques et de la robinetterie. Deux ingénieurs assistés d'un cadre technique, d'un contremaître principal hors classe et d'un technicien principal ont la responsabilité du domaine Exploitation-Essais-Modifications. On voit bien que, axée sur l'analyse et dégagée des responsabilités liées aux interventions directes sur le terrain, l'ingénierie reste une structure légère.

Si légère que, au cours d'un entretien avec un ingénieur du service IMT, celui-ci a déclaré spontanément : *"heureusement qu'il n'y a pas que les gens de l'IMT à faire de l'ingénierie sur le site !"* C. DUSSAUX, chef de la mission Sûreté Qualité, m'avait effectivement précisé préalablement à ma venue à Saint Alban que des capacités d'ingénierie sont également présentes au niveau des services opérationnels. C'est ainsi

par exemple qu'on trouve un ingénieur au service Technique spécialement chargé des questions liées au combustible, trois ingénieurs au service Automatismes-Électricité, trois ingénieurs au service Travaux, etc.

1.2.3 Le positionnement de l'ingénierie de maintenance doit encore être ajusté

En 1995 l'ingénierie a fait l'objet d'une évaluation de l'Inspection nucléaire à Cruas, Fessenheim, Golfech et Penly. Il apparaît que la compétence des acteurs est bonne et que les missions qui sont assignées aux ingénieries commencent à trouver une bonne définition.

En fait la principale difficulté de l'ingénierie, de façon générale, consiste à trouver un juste équilibre entre les fonctions de veille et d'anticipation, qui nécessitent une bonne capacité de recul vis-à-vis du quotidien, et le soutien aux opérationnels. En matière de veille-anticipation, les IEM réalisent traditionnellement des bilans annuels et émettent des conclusions à moyen terme sur l'état des matériels suivis au niveau du Parc par le département Maintenance ; ce point positif a été particulièrement noté à Saint Alban par l'équipe IN chargée du domaine Ingénierie, bien que l'homogénéité de ces bilans ne soit pas parfaite. Par ailleurs l'étude des événements conduit les ingénieries à émettre des conclusions où le souci d'anticipation est pris en compte au niveau des matériels concernés ; à Saint Alban l'ingénierie a une participation active au bilan annuel de sûreté du site. Il semble cependant que, de façon générale, la fonction de veille-anticipation ne soit pas d'une efficacité parfaite ; à Saint Alban par exemple une partie du retour d'expérience Parc se ferait de façon « officieuse » par le canal des prestataires. L'IN notait d'ailleurs en 1994 que *"en termes d'efficacité les ingénieries de site ont surtout contribué à améliorer la disponibilité des installations en aidant notamment à résoudre les aléas techniques ou en optimisant la performance des installations."* ⁽¹²⁾

L'appui aux opérationnels est ainsi une mission à laquelle les ingénieries répondent bien. Il est vrai que les services ont l'habitude d'y recourir fréquemment, surtout pour les opérations de maintenance. L'organisation peut parfois aussi faciliter ces bonnes relations : le site de Cruas est passé en ingénierie centralisée en 1994 mais a laissé géographiquement les ingénieries dans les services ; il a réussi ainsi à conserver la proximité avec les services opérationnels et un bon suivi des événements locaux, tout en instaurant une vision globale et un pilotage plus fort de l'activité ingénierie. A Saint Alban l'ingénierie robinetterie répond bien aux demandes ; afin de mieux formaliser son mode de travail, elle utilise d'ailleurs un système de fiches questions-réponses (simples) plutôt que des demandes téléphoniques qui laissent plus de place à l'approximation. Vu à distance ⁽¹³⁾, Saint Alban me semble prévenir ainsi — au moins en partie — une remarque faite par l'IN dans son bilan 1995 : *"la formalisation des demandes des services opérationnels à l'ingénierie pour définir suffisamment le contenu des demandes et leur priorité est à développer."*

¹² Bilan d'activités de l'Inspection nucléaire en 1994. Principales conclusions, Inspection nucléaire, décembre 1994 (document interne EDF).

¹³ Je n'ai pas suivi les investigations conduites par l'équipe IN chargée de l'ingénierie mais celles de l'équipe Maintenance. Les deux domaines se recoupant sur certains points, les informations retracées dans ce chapitre viennent soit des observations directes que j'ai pu faire (équipe Maintenance), soit des informations recueillies lors des réunions quotidiennes de l'équipe d'évaluation IN (autres équipes dont Ingénierie).

Un bon appui aux opérationnels a parfois une contrepartie négative : il peut être difficile de prendre du recul et de participer au traitement national des affaires considérées comme importantes par le Parc. C'est ainsi que l'ingénierie Machines statiques de Saint Alban fait beaucoup de temps réel pendant l'arrêt de tranche et reste un peu « le nez dans le guidon » ; M. DRUBIGNY, pilote du domaine Ingénierie dans l'équipe d'évaluation de l'IN, remarquait à cet égard que *"cette ingénierie a le sentiment de se comporter comme un service opérationnel et n'est pas satisfaite d'elle-même"*. Cette remise en cause de son mode de travail par l'intéressé lui-même me paraît être tout à fait intéressante : elle manifeste clairement une attitude que j'ai vu partout sur le site, la volonté de faire toujours mieux. Pour sa part, l'ingénierie Automatismes participe fortement aux affaires Parc mais aide peu les opérationnels.

Dans ce contexte très divers — j'allais presque dire cette multitude de contextes — entre les sites et à l'intérieur d'un même site, il n'est pas étonnant que l'ingénierie ait parfois du mal à trouver ses marques. L'un des premiers constats fait par l'équipe IN à son arrivée sur le site ⁽¹⁴⁾ fut que le mode de circulation du courrier laisse souvent de côté l'ingénierie, même pour les questions qui relèvent de sa compétence. L'ingénierie n'est pas systématiquement sollicitée pour les modifications. Par ailleurs, face à des équipes de préparation qui ont une forte expérience et sont souvent bien dotées en moyens humains, l'ingénierie peut parfois se trouver en porte à faux ; deux exemples vécus à Saint Alban illustreront ce propos.

1. La « requalification du niveau cuve » est réalisée à chaque rechargement de combustible. Opération très délicate et très sensible pour la sûreté du réacteur pendant l'exploitation, elle a pour objectif de recalibrer les instruments nécessaires à la mesure du niveau d'eau dans la cuve, essentiellement à partir d'un ébulliomètre. Il y a beaucoup de physique à faire pour passer d'une simple mesure de différentiel de pression (dans l'ébulliomètre) à une information valable sur l'état et le niveau du liquide primaire dans la cuve. Or à chaque arrêt les caractéristiques du cœur sont modifiées. La requalification consiste donc à placer le circuit primaire dans divers états connus, à relever les mesures fournies par les capteurs, à en déduire les relations entre les résultats de ces mesures et l'état du liquide primaire, à fournir aux équipes de conduite, à partir de ces relations, les clefs permettant d'établir pendant le fonctionnement du réacteur un diagnostic certain sur le niveau d'eau dans la cuve.

L'ingénierie Automatismes de Saint Alban n'est pas associée aux requalifications du niveau cuve. En fait, indiquait l'ingénieur Automatismes-Électricité, l'ensemble du dossier est chez les opérationnels du service Automatismes ; l'ingénierie n'a pas ressenti le besoin de rajouter une interface dans un système qui fonctionne bien et sur un dossier très pointu : *"l'ingénierie doit avoir une vue plus large et plus transverse."* Toutes les opérations sont laissées sous la responsabilité du préparateur principal Automatismes. Celui-ci traite tous les aspects, il est considéré comme parfaitement capable de s'approprier les fonctions de l'ébulliomètre et de traiter un écart sur cet appareil. L'ingénieur Auto-Élec reste cependant en 2^{ème} niveau : il est *"tenu au courant"* des opérations, lit les courriers qui transitent par le préparateur principal, participe aux

¹⁴ Constat relevé d'ailleurs séparément par l'équipe IN Maintenance et l'équipe IN Ingénierie dans leurs entretiens respectifs et mis en commun dans les réunions plénières de l'équipe IN.

réunions REX des arrêts précédents, valide la bonne fin des Ordres d'intervention (OI) afin de respecter l'organisation du site. Ce partage des tâches ne découle pas d'une politique explicite du site mais de la « stratification » historique : *"tout a été implicite"*. Le partage n'a jamais été remis en cause car l'intéressé *"en sait dix fois plus que n'importe qui à l'ingénierie et le travail de préparateur principal s'apparente beaucoup à l'ingénierie."* L'ingénieur Auto-Élec indiquait par ailleurs qu'il jugeait contre-productif et quasiment impossible de vouloir se mettre à niveau par rapport au préparateur principal, sur cette question.

On voit ici un écart à une politique nationale définie au niveau du Parc. Celui-ci a souhaité que les sites engagent une démarche *"d'appropriation de l'ingénierie"* relative à la requalification du niveau cuve ; il a adressé un courrier en ce sens à tous les sites. Le thème « Mesure du niveau cuve » a d'ailleurs été constitué en Affaire Parc en 1995, suite aux difficultés rencontrées par les CNPE 1300 MW pour gérer correctement des procédures nouvelles de requalification.

2. Ce partage des tâches se retrouve également dans le mode d'intégration et d'adaptation des PBMP aux programmes de maintenance de Saint Alban ⁽¹⁵⁾. Le PBMP ne passe pas par l'ingénierie de site mais part directement au service Automatismes-Électricité pour intégration. Le préparateur principal considère que ce processus constitue une « affaire », qui doit donc être suivie intégralement par une seule personne. Il désigne un pilote au sein de ses équipes de préparateurs, à l'aide d'un tableau de bord qui lui permet de gérer les affaires en cours et les charges de travail de chacun. Le préparateur principal réfléchit sur les grandes lignes de l'intégration et rédige un canevas. Ce canevas est examiné par le pilote, qui en discute avec le préparateur principal. Selon la complexité de la tâche, trois solutions s'ouvrent au pilote :

- il rédige directement le PLMP ;
- il s'appuie sur un technicien ;
- il fait appel à un prestataire extérieur (habilité SN2 par l'UTO) ; les PLMP relatifs aux capteurs ANA ⁽¹⁶⁾ peuvent par exemple être confiés à la société TEP FRANCE.

L'état d'avancement du processus est discuté tous les mois en réunion de la Préparation Auto-Élec.

Cette façon de faire n'est pas anormale, loin de là. L'intégration d'un PBMP consiste surtout à traduire dans les documents opératoires du site des indications données au niveau national sur la bonne fréquence et les bonnes méthodes de maintenance de tel ou tel appareil. Une telle traduction est tout à fait du ressort du service opérationnel concerné, qui s'approprie ainsi les prescriptions de maintenance et devra de toute façon les appliquer sur le terrain. L'ingénierie ne peut avoir ici qu'un rôle d'appui, de soutien, de conseil ; elle peut apporter de la plus-value, par exemple en établissant des

¹⁵ PBMB : Programmes de Base de Maintenance préventive, mis au point au niveau du Parc ; PLMB : Programmes locaux de Maintenance préventive, adaptation des PBMP aux spécificités de chaque site.

¹⁶ Capteurs analogiques ; ils s'opposent aux capteurs TOR (Tout ou Rien).

rapprochements avec d'autres situations connues ou similaires. En aucun cas l'absence de l'ingénierie dans le processus ne peut être assimilée à un défaut de fonctionnement des organisations. Il est cependant souhaitable, sur un plan tout à fait général, que les capacités de recul qu'offre la présence d'une ingénierie soient mises à profit. Cela oblige celles-ci à faire des arbitrages dans leurs champs d'action éventuels afin d'éviter une dispersion préjudiciable. Une ingénierie de site ne peut tout faire à la fois.

L'essentiel est bien sûr que chacun trouve bien sa place et que les fonctions d'ingénierie soient correctement assumées, quels que soient le lieu et le service. C. FRANTZEN, Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire, me déclarait ainsi lors de notre entretien du 17 juillet : *"Quelle que soit la structure retenue par les sites, la fonction est remplie partout. Une bonne partie des tâches que l'on peut accomplir en local le sont effectivement aujourd'hui. Les ingénieries de site se posent les bonnes questions : le problème à résoudre est-il générique ou spécifique au site ? le problème peut-il être traité par l'ingénierie de site ou au niveau des Moyens centraux du Parc ?"*

Se poser des questions, c'est justement l'objet essentiel de la démarche Qualité-Sûreté, devenue une pierre angulaire de la qualité nucléaire au quotidien.

1.3 La démarche Qualité-Sûreté vise à identifier, hiérarchiser et maîtriser les risques

1.3.1 La démarche Qualité-Sûreté élargit la démarche PQS

Lorsqu'en 1990 le rapport NOC recommande la généralisation des « Plans Qualité », il s'agit d'une part de valoriser certaines actions qui avaient été entreprises de façon locale par certains sites, d'autre part de renforcer le contrôle exercé par EDF sur la qualité des interventions. C'est ainsi que le thème est placé dans le champ de réflexion du sous-groupe chargé des *"Activités de contrôle"*. Il est traité de façon à mettre en évidence une meilleure adéquation entre la politique de contrôle menée par EDF et les exigences réglementaires inscrites dans l'arrêté Qualité de 1984, comme en témoigne dans les paragraphes ci-dessous la mention des articles de l'arrêté supposés correspondre aux domaines d'application des Plans Qualité. La démarche PQS est née.

"La notion de Plan Qualité est développée avec pour objectif de clarifier, de faire émerger et de formaliser les exigences essentielles de qualité d'une activité ou d'une intervention couvrant un ensemble d'activités, en rapport avec son importance pour la sûreté, tout en laissant une place suffisante et motivante au professionnalisme et aux règles de l'art. [] Le Plan Qualité doit permettre d'intégrer de manière claire et formalisée les conditions essentielles liées à l'application de l'Arrêté Qualité :"

"— la réflexion préparatoire, qui permet, à partir de l'analyse des risques potentiels (barrières, lignes de défense, mode commun, etc.) ou des risques connus vis-à-vis de la sûreté (propreté, remise en configuration, DMP, interfaces de coordination, requalification, planification) de définir des exigences de qualité adaptées liées à l'activité ou à l'intervention elle-même, à son environnement et ses interfaces (art. 6) ;"

- "— de préciser les conditions d'exécution de l'activité, en terme de qualification des moyens humains et technique, ainsi que les actions de contrôles effectuées par les intervenants eux-mêmes (art. 7) ;"
- "— de concrétiser, par des points d'arrêt ou de convocation, l'action de contrôle par une personne différente (art. 8) ou l'action de surveillance par le site ou l'organisme spécialisé (art. 4) ;"
- "— de signaler les anomalies rencontrées (art. 8) et de faciliter leur prise en compte en temps réel (art. 13) ;"
- "— de permettre d'exercer l'action de vérification, par le site (MSQ) ou l'organisme spécialisé, portant sur l'adéquation d'ensemble des mesures prises (art. 9)."

La perspective s'est déplacée depuis. EDF s'est aperçue en effet qu'on ne contrôle bien que ce sur quoi on a bien réfléchi : l'analyse préalable des interventions, la détection des risques associés, leur hiérarchisation puis l'identification des parades que l'on peut opposer à ces risques sont au moins aussi — et en fait plus — importantes que la finalisation du contrôle proprement dite.

Par ailleurs l'appareil sémantique s'est précisé, avec la clarification nécessaire de la différence entre *activité* et *intervention* :

- l'intervention est constituée de plusieurs opérations élémentaires organisées selon un plan ; elle peut consister en des travaux, des contrôles, des essais, etc. plus ou moins complexes ;
- l'activité est l'ensemble des tâches (études, interventions) permettant de maintenir ou de rétablir un ouvrage ou un matériel dans un état spécifié ou en mesure d'assurer une fonction déterminée ; une activité couvre la préparation, les interventions techniques, les contrôles de qualité, les requalifications des matériels.

Souvent ressentie comme l'obligation de rajouter une couche de papier supplémentaire, la démarche Plan Qualité Sûreté s'est rapidement élargie, transformée en démarche Qualité-Sûreté et intégrée à la politique générale de qualité du parc nucléaire. L'accent est mis désormais sur l'état d'esprit à adopter et les actions à entreprendre plutôt que sur les documents à rédiger et les signatures à collecter.

La démarche Qualité Sûreté a pour objet d'améliorer la sûreté des installations en introduisant davantage de rigueur dans toutes les phases de maintenance. Il s'agit pour cela d'exprimer clairement les exigences de qualité à satisfaire, et de les formuler systématiquement dans les dossiers d'intervention. Elles seront alors à la base des contrôles à effectuer lors des travaux.

Comme l'indique la circulaire annexée à l'arrêté Qualité du 8 août 1984, *"il convient de souligner l'importance de la réflexion liée à la définition des exigences ; le choix des exigences issu de cette réflexion conditionne de façon essentielle l'obtention et*

le maintien de la qualité recherchée. Ces exigences doivent être revues, le cas échéant, en fonction de l'expérience acquise et prendre en compte les mesures résultant de l'examen des anomalies ou incidents." En ce sens, la démarche Qualité Sécurité se situe à l'opposé des anciennes pratiques où, pour chaque acteur (client ou fournisseur) il s'agissait surtout de respecter les règles d'organisation de la qualité, préétablies et communes à toutes les activités. Dans une telle culture la qualité requise du service rendu ou du produit livré n'était pas formellement établie et ne pouvait pas être évaluée objectivement. Dans la nouvelle culture, cette qualité requise consiste à satisfaire les exigences définies au préalable et peut donc être évaluée objectivement.

Ainsi, la démarche Qualité Sécurité (état d'esprit) est au service de l'Assurance Qualité (objectif) en utilisant la méthode Qualité Sécurité (moyen). Cette méthode consiste en une suite de questions très générales, qui doivent être ensuite déclinées aux diverses actions de maintenance.

<i>Les questions de l'assurance Qualité</i>
• Quelles sont les exigences données relatives à la qualité du produit ou du service attendu ?
• Que faire et comment faire pour obtenir le respect des exigences : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ?
• Quels sont les écarts qui ne permettraient pas d'obtenir le respect des exigences ?
• Quels sont les moyens préétablis nécessaires pour éviter ces anomalies ?
• Comment contrôler que ces moyens permettront d'obtenir le respect des exigences ?
• Quels documents faut-il écrire avant réalisation pour donner confiance dans l'obtention de la qualité requise ?
• Quelles vérifications préétablis faut-il mettre en oeuvre pour s'assurer que les exigences sont toujours satisfaites ?
• Quelles actions faut-il engager lorsqu'un écart par rapport aux exigences est détecté ?

1.3.2 L'analyse de risques oblige à s'interroger sur la sûreté de l'intervention

1. L'analyse de risques au sens propre concerne les 4 premières questions de ce bréviaire. Elle s'applique uniquement à la préparation des activités menées sur une tranche nucléaire en exploitation ; elle part donc de l'acquis (qui forme d'ailleurs un cadre prescriptif) constitué par l'ensemble des exigences de sûreté établi à la conception (rapport de sûreté de la tranche, Règles générales d'Exploitation). L'analyse de risques est fondée :

- sur la « mémoire », afin d'exploiter l'expérience acquise sur les scénarios d'incidents déjà rencontrés, au cas où l'activité envisagée peut être concernée par ces risques ; cette approche permet d'exploiter une expérience portant sur plus de 600 années×réacteurs d'exploitation des REP, dont la conception a par ailleurs fort peu évolué ;
- sur l'imagination de scénarios à risques, car l'approche précédente ne permet pas de traiter des scénarios jamais survenus mais pas pour autant improbables ; on peut partir des moyens utilisés pour l'activité et imaginer leurs modes de

défaillance qui conduiraient à ne plus respecter les exigences générales de sûreté ; on peut également partir des exigences générales et chercher les causes possibles du non respect de ces exigences, puis retenir celles de ces causes qui peuvent être reliées aux moyens mis en oeuvre pour l'intervention envisagée.

Dans la pratique, le Département Sûreté nucléaire (Exploitation du Parc nucléaire) a rédigé en 1990 un *Guide d'élaboration des plans Qualité Sûreté*, puis en 1995 un *Guide d'Analyses de Risques - Sûreté d'une activité d'Exploitation*, dans le cadre d'un groupe de travail rassemblant des chefs de MSQ venant de plusieurs sites et des membres des services centraux.

L'analyse de risques concerne deux domaines différents mais connexes : 1/ la conduite de l'installation en exploitation (qui est éventuellement privée de certains matériels, indisponibles) ; 2/ l'intervention sur les matériels (qui sont en général consignés c'est-à-dire reconnus comme indisponibles par la conduite). Ces deux parties ne sont pas indépendantes et les analyses de risques devraient être (idéalement) conduites simultanément.

a) La recherche des exigences de sûreté passe par plusieurs questions : quelles sont les interventions prévues sur les matériels ? Quel est l'état standard du réacteur qui a été retenu ? Quelles sont les exigences de conception qui s'appliquent au matériel considéré ? Les objectifs fonctionnels de la sûreté sont-ils toujours atteints ⁽¹⁷⁾ ?

b) Les principales étapes des phases de préparation et de planification sont ensuite passées en revue. Au nombre de 28 (pour ce qui concerne les interventions sur le matériel), elles comportent par exemple : l'établissement de la liste des opérations et interventions à effectuer ; la définition des états requis et des conditions requises pour les consignations ; l'adaptation de la logistique ; la définition des compétences des équipes ; la rédaction des CSCT adressés aux prestataires ; le repérage des tranches, des locaux, des systèmes, des matériels ; la définition des modes opératoires, la prise en compte de la propreté, l'ordonnancement des interventions ; le suivi du planning ; etc.

Pour chaque étape de l'analyse, le guide indique la méthode à suivre, les dysfonctionnements éventuels (mis en évidence par le retour d'expérience) avec leurs causes possibles, des conseils et informations utiles. Pour l'étape relative à la vérification des documents opératoires, par exemple, le guide indique trois sources d'erreurs possibles :

- les documents utilisés ne sont pas à jour (suite à une modification de l'installation) ; exemple d'erreur et de conséquence : le dossier d'intervention « pose du batardeau » pour la piscine réacteur est constitué à partir d'une documentation « satellite » ⁽¹⁸⁾ non mise à jour suite à une modification ; le batardeau est monté à l'envers ; il s'ensuit une rupture du joint et le

¹⁷ En plus des trois fonctions de sûreté (maîtrise de la réactivité, refroidissement du combustible, confinement des matières radioactives), ces objectifs comptent aussi la maîtrise de l'inventaire en eau et de la pression primaire.

¹⁸ Les sites ont généralement une documentation centralisée et des documentations satellites placées plus près des services pour faciliter la vie quotidienne.

déversement de 600 m³ d'eau primaire dans le bâtiment réacteur via les trous d'homme ouverts en pied de GV ;

- les documents ne sont pas adaptés à l'état de la tranche ; par exemple une tranche à l'arrêt est alimentée par le tableau de secours, le tableau auxiliaire et le diesel voie B étant consignés (c'est-à-dire retirés du service actif) ; l'utilisation d'une procédure non adaptée à l'état « tableau auxiliaire consigné » lors d'une intervention sur un disjoncteur provoque l'ouverture du disjoncteur de ligne donc la perte de la seule source externe disponible pour l'alimentation électrique ;
- les documents opératoires n'existent pas ; par exemple le prélèvement d'huile sur les carters des deux pompes « Injection de sécurité basse pression » sans document d'intervention prévoyant la reconstitution du niveau correct d'huile peut entraîner un niveau insuffisant (3 litres prélevés sur 5 litres de contenance totale) pour assurer le bon fonctionnement des pompes en cas de sollicitation ;
- à titre d'information-rappel, le guide signale comme cause fréquente d'erreur pour cette étape que les documents opératoires en documentation satellite ne sont pas toujours à jour.

c) Il faut ensuite définir les parades aux risques identifiés, afin d'éviter l'apparition des scénarios à risques ou de limiter leurs conséquences potentielles à un niveau acceptable. Les parades relèvent de la prévention, de la surveillance et des moyens d'action. On doit bien entendu s'assurer de leur efficacité et vérifier qu'elles n'engendrent pas elles-mêmes de nouveaux risques (ou tout au moins les prendre en compte alors à ce niveau de l'analyse). Si les conséquences des risques identifiés restent inacceptables au regard des parades qui leur sont opposées, il faut alors faire le choix de changer d'état standard du réacteur pour l'intervention considérée et effectuer une analyse de risque complètement nouvelle.

2. Le guide, outil préparé par les services d'EDF (sites et moyens centraux), me paraît répondre largement à son objectif. Il peut d'ailleurs être utilisé à deux vitesses : 1/ soit comme un "bêtisier", où l'on consulte les dysfonctionnement mis en évidence par le REX de façon à éviter de les reproduire dans l'activité préparée ; 2/ soit comme support d'une analyse de risques complète et efficace qui met en oeuvre la méthode proposée. De manière générale, il appartient aux sites d'adapter le guide à leurs spécificités, d'en établir les éventuels supports (grilles standardisées, fiches simplifiées, etc.) et de n'en retenir que ce qu'ils considèrent nécessaire. Le guide souligne que *"l'analyse de risques n'est pas « gratuite », elle consomme du temps. Elle passe obligatoirement par un travail de préparation en équipe au cours duquel on doit adapter l'effort d'analyse à l'importance estimée de l'activité."*

C'est ainsi que Saint Alban a décidé de faire effectuer les analyses de risques en deux étapes. Dans le cas d'une « intervention », l'application de la démarche Sécurité-Qualité consiste dans un premier temps à : 1/ déterminer tout ce qui conditionne l'intervention et la requalification du matériel (quelles opérations sur quel matériel ? qui intervient et avec qui ? quand intervenir ? comment et avec quels moyens ?) ;

2/ déterminer l'état requis de la tranche, les conditions et les délais d'intervention tels que dictés par les Spécifications techniques d'Exploitation du réacteur ; 3/ définir les requalifications intrinsèque et fonctionnelle et leurs conditions de réalisation, notamment vis-à-vis des STE. Cette première analyse est faite avec l'appui de la conduite et de l'Ingénieur sûreté. Elle est consignée dans le document *Analyse de risques liés aux interventions*, dont un exemplaire est établi pour chaque intervention.

La première étape du processus amène nécessairement les acteurs concernés à se poser des questions préliminaires sur les risques induits par l'intervention. Elle conduit alors éventuellement à l'engagement de ce que Saint Alban appelle une *"analyse de risques approfondie"*. Cette analyse de risques approfondie reprend la majeure partie des « étapes » dont j'ai mentionné l'existence ci-dessus, telles qu'indiquées dans le guide national. La décision de réaliser l'analyse de risques approfondie s'apprécie au cas par cas ; cependant Saint Alban semble avoir fixé comme règle que l'analyse approfondie doit être effectuée si l'intervention est complexe ou inhabituelle, si l'on est en présence d'un mode commun, si le retour d'expérience a montré des dysfonctionnements importants sur la même intervention, si la requalification nécessite une réflexion particulière. Il est bien précisé que ces critères n'épuisent pas les possibilités d'ouverture d'une analyse approfondie.

Certains éléments de l'analyse approfondie sont identifiés (et les parades définies) en « réunion d'analyse de risques ». Elle rassemble au minimum le responsable des méthodes et contrôles (en général un préparateur), un spécialiste en conduite, un ingénieur du service Sûreté-Qualité comme conseil si nécessaire, le chargé de contrôle (si l'intervention doit être effectuée par un prestataire) ou le chargé de travaux (si l'intervention est faite par EDF). Les autres éléments sont identifiés par le service chargé de la maintenance qui pilote l'intervention.

3. Évidemment la démarche n'est efficace que si elle traduit véritablement une interrogation sur les exigences de sûreté de l'intervention. Le danger serait qu'elle se limite à une approche purement formelle, où l'on se contenterait de « remplir les cases » de la grille. Le risque est bien réel :

- les représentants de la DRIRE Rhône Alpes m'ont indiqué lors de notre réunion de travail du 26 novembre que *"les analyses de risques sont parfois sommaires et les parades parfois fictives"* ;
- je pense avoir perçu (même si une approche « quantitative » est impossible) des différences de qualité entre diverses analyses de risques que j'ai pu consulter, soit directement sur des chantiers (intervention sur soupapes SEBIM RRA 32 VP) soit sur des dossiers issus de l'arrêt de Saint Alban 1 en juin-juillet (contrôle-tarage des soupapes SEBIM) ; certaines m'ont paru plus sommaires que d'autres, avec de nombreuses parades limitées à la *"requalification"* ; bien que je ne sois pas spécialiste, je me demande si en l'occurrence d'autres parades n'auraient pas pu être définies car la requalification doit être conçue comme le dernier « filet de sécurité », qui récupère ce qui aura échappé aux parades antérieures ;

— l'Inspection nucléaire elle-même estimait dans son bilan 1995 que *"le sens des analyses de risques a été un peu perdu de vue"*.

Au contraire une démarche interrogative réussie, une analyse de risques effectuée au fond, peuvent conduire à prévenir des incidents ou à limiter leurs conséquences. Ainsi en 1993 les personnes chargées d'intervenir sur les circuits RIS et EAS de Dampierre-2 se sont interrogées sur la possibilité que de l'air soit emprisonné, suite à une procédure d'intervention peut-être inadaptée, dans les lignes de recirculation de l'eau pompée dans les puisards RIS et EAS. La vérification effectuée sur la tranche révèle effectivement un défaut de remplissage. La bonne application de la démarche Qualité Sécurité montre ainsi son efficacité.

La suite est alors sans surprise. Les contrôles lancés sur les autres tranches du site confirment la présence d'air entre la vanne d'isolement et le clapet anti-retour, ainsi qu'entre le clapet et la pompe sur les circuits RIS et EAS côté puisards. Les résultats d'une enquête lancée sur l'ensemble du parc mettent en évidence l'aspect générique du défaut, toutefois circonscrit au palier CP1-CP2. Les volumes d'air détectés sur certaines tranches auraient pu être suffisants pour entraîner l'indisponibilité totale ou partielle des lignes RIS ou EAS en recirculation. Suite à cet incident des mesures ont été prises pour s'assurer du bon remplissage des circuits après un arrêt pour rechargement.

On notera le fort impact sur la sécurité de cette attitude interrogative, qui a permis de mettre en évidence et corriger un défaut générique.

Je dois signaler également une action intéressante mise en place à Saint Alban au service Travaux (section Robinetterie). Lors des premiers arrêts de tranche, la préparation faisait autant de PdQ que de dossiers d'intervention, c'est-à-dire près de 650. Les préparateurs, et à leur tête le préparateur principal, ont alors constaté une *"banalisation"* du PdQ donc une perte d'efficacité. Il a été décidé de mettre au point une pré-grille d'analyse de risques, conçue comme un filtre de rappel pour les questions importantes, avant de lancer éventuellement une analyse de risques approfondie. Ce filtre de rappel mentionne en particulier l'atteinte à l'intégrité de la troisième barrière, risque fréquemment rencontré lors des interventions de robinetterie. Ceci n'est pas inutile puisque, rappelait C. PROBST, préparateur principal, il existe des robinets à Qualité non Surveillée qui font des traversées d'enceinte ! Ces robinets sont « piégés » dans la pré-grille. Au demeurant *"tout préparateur normalement constitué prend en compte l'intégrité de la troisième barrière dans ses dossiers d'intervention"* estimait C. PROBST. Mais quand l'assurance qualité se conjugue au professionnalisme, on obtient un système vraiment bien verrouillé !

1.3.3 Les PdQ et PQS concrétisent l'application de la démarche

Par le biais de l'analyse de risques, la démarche Qualité Sécurité s'intègre naturellement dans la phase de préparation des interventions (ou activités). Elle se poursuit nécessairement pendant toute la durée de l'intervention, puisqu'il faut d'une part réaliser au cours des travaux certaines actions prévues au titre des contrôles divers, d'autre part prendre en compte les évolutions possibles du contexte de l'intervention et des contraintes qui s'y appliquent.

Il est donc parfois nécessaire de constituer un support spécial qui permette de « tracer » les exigences de sûreté attendues lors de l'intervention : c'est l'objet du PdQ (Plan de Qualité) pour une intervention, du Document de surveillance intégré au dossier PQS (Plan Qualité Sûreté) pour une activité. Le PdQ est rédigé en utilisant une trame qui comprend :

- les renseignements d'identification de l'intervention : identification du site, identification du PdQ, classification du matériel, libellé de l'intervention, spécialité dominante pilotant l'intervention, références diverses ;
- la suite ordonnée des opérations constituant l'intervention, portant en regard de chacune le ou les documents d'intervention applicables ; certaines de ces opérations peuvent être intégrées spécialement suite à la réflexion préalable sur les risques : elles ont alors pour objet direct le respect d'une exigence de sûreté ;
- en regard des opérations « critiques » vis-à-vis des exigences de sûreté, mises en évidence par l'analyse de risques, le PdQ porte la mention du contrôle nécessaire dont les modalités sont précisées (contrôle technique, surveillance, vérification) : point de notification, date, nom et visa du contrôleur ;
- en regard de chaque opération une case est réservée pour des observations éventuelles : ouverture d'une fiche de non-conformité, d'une fiche d'anomalie, réalisation d'un PV d'expertise (mesure de cotes, etc.).

Le PdQ est élaboré selon les méthodes générales de l'assurance qualité. Il est ainsi rédigé par un agent de la spécialité dominante ayant participé à l'analyse de risques ; par son visa, celui-ci atteste du respect de toutes les exigences liées à l'intervention. Un vérificateur atteste du contrôle technique du contenu du PdQ ; en particulier il s'assure que les parades prévues pour pallier les risques mis en évidence au cours de l'analyse de risques sont bien intégrées. Le chef de service approuve enfin le document.

Le document de surveillance du PQS est bâti selon les mêmes principes, pour ce qui est d'une activité. Ses spécificités seront examinées plus bas, en liaison avec le métier de chargé d'affaires.

PdQ et PQS sont devenus les instruments essentiels du contrôle exercé par EDF sur les interventions de maintenance. Ils traduisent l'évolution de sa nature : dans la perspective du recentrage sur la maîtrise d'ouvrage le contrôle se focalise désormais sur le respect des exigences de sûreté.

1.4 Le contrôle se focalise sur le respect des exigences de sûreté

1.4.1 La surveillance des prestataires ne doit pas être un vain mot

Je ne peux commencer ces quelques paragraphes sur le contrôle sans porter à la connaissance du Parlement les faits malencontreux qui se sont produits à Dampierre en 1992. Par leur caractère frauduleux, ils dépassent un peu le cadre normalement assigné à la surveillance des opérations de maintenance bien qu'ils relèvent tout à fait de cette

démarche ; en tous les cas ils en montrent bien l'absolue nécessité. Le déroulement et l'explication des faits sont retracés en détail dans le rapport 1992 de la DSIN.

Fin mai 1992, l'exploitant de Dampierre est officieusement informé que certains documents fournis par un prestataire, à la suite de travaux effectués sur le réacteur n°1, auraient pu être falsifiés, et que trois soudures sur un circuit important pour la sûreté ne seraient pas conformes aux spécifications.

Lors de travaux sur des tuyauteries, pour vérifier l'absence de défauts dans une soudure, plusieurs moyens de contrôle sont utilisés. En fonction de l'importance des circuits, les radiographies sont faites, soit sur toutes les soudures, soit sur un certain pourcentage de celles-ci. A la suite des radiographies, un procès-verbal établit la conformité des soudures. Ces travaux avaient été confiés par EDF à une entreprise extérieure.

Afin d'éclaircir cette affaire, l'exploitant a réalisé, le 11 juin, de nouveaux contrôles des soudures incriminées. Alors que les procès-verbaux de contrôle et les radiographies présentées contractuellement par le prestataire concluaient à la conformité de trois soudures, les nouvelles radiographies effectuées par EDF montrent l'existence de défauts significatifs sur deux soudures. Celles-ci auraient dû être refaites. La comparaison entre ces documents a montré que des radiographies d'autres soudures ont été utilisées par l'intervenant du prestataire comme fausse preuve de conformité. Dès la confirmation de cette anomalie, EDF a refait les soudures défectueuses.

Une inspection a été effectuée le 22 juin 1992 par des inspecteurs de la DSIN et de la DRIRE Centre. Au cours de cette visite, l'exploitant et le prestataire ont confirmé la falsification de procès-verbaux. Le prestataire a fait part à EDF d'une liste de soudures susceptibles d'avoir donné lieu à une falsification de leur procès-verbal de contrôle.

Aux yeux de la DSIN, la surveillance des prestataires dans le cadre du système d'assurance-qualité d'EDF n'a pas permis d'éviter cette fraude. Les inspecteurs n'ont pu connaître les raisons propres et les motivations de cette fraude. Aussi, dans l'attente d'explications complémentaires, la DSIN a demandé à EDF, préalablement au redémarrage des réacteurs à l'issue de leur arrêt programmé, de lever le doute sur la qualité des soudures réalisées par ce prestataire, ainsi que sur la conformité des procès-verbaux associés.

Les services d'EDF ont proposé un certain nombre d'actions en ce sens : 1/ les investigations se sont poursuivies sur le site de Dampierre afin de déterminer les causes de l'incident ; 2/ un recensement des travaux réalisés par le prestataire sur le parc a été effectué ; 3/ lors des arrêts programmés des réacteurs, un contrôle par sondage des soudures a été réalisé ; aucune autre falsification des documents de contrôle n'a été mise en évidence.

Le bilan des soudures contrôlées sur le site de Dampierre a montré que 27 radiographies de soudures ont été falsifiées ; pour ces soudures, 17 d'entre elles nécessitaient une réparation. Elles concernaient notamment les circuits de réfrigération de la piscine de stockage du combustible, le circuit de secours de l'alimentation des

générateurs de vapeur (circuit ASG) et le circuit de ventilation du bâtiment des auxiliaires nucléaires.

Suite à cet incident, EDF a décidé de renforcer la surveillance de la qualité des travaux réalisés par les divers prestataires sur ses sites. En raison de la découverte fortuite d'anomalies importantes pour la sûreté non vues lors des contrôles normaux, de la falsification de documents relatifs à la sûreté et des enseignements à en tirer pour la surveillance des prestataires par EDF, cet incident a été classé par l'autorité de sûreté au niveau 1 de l'échelle française de sûreté, appliquée à l'époque.

Dans son rapport 1992, l'Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire indiquait par ailleurs que le responsable de la fraude avait été identifié et licencié de son entreprise et que les investigations conduites par EDF avaient pu *"conclure que la fraude était limitée à un individu et au site de Dampierre."* Prenant comme à son habitude du recul par rapport à l'événement, P. TANGUY remarquait que *"C'est la première fois que nous rencontrons à EDF un incident de ce type, alors qu'il s'en est déjà produit à l'étranger, en particulier aux États-Unis, à plus grande échelle. Un système efficace d'assurance de qualité doit permettre de les déceler, de la même manière que pour des malfaçons involontaires. L'événement de Dampierre ne conduit pas à remettre en cause notre organisation, mais nous devons nous assurer que nos pratiques ont la rigueur nécessaire. De plus cet incident renforce l'intérêt des démarches en cours pour créer chez tous nos prestataires une véritable culture de sûreté : dès lors que tous ont conscience de l'importance pour la sûreté d'un strict respect des exigences de qualité, de telles actions individuelles auraient toutes chances d'être signalées et corrigées sans délai."*

Les regards internes de l'IGSN et externe de la DSIN ont donc conduit au même jugement, appelant à un surcroît de rigueur.

Fort heureusement les événements de ce genre sont rarissimes. La fraude de Dampierre ne s'est pas reproduite jusqu'ici. Le nécessaire contrôle d'EDF sur les prestations de maintenance (par ses propres services ou par des intervenants extérieurs) relève plus de l'assurance qualité que de l'opération de police, l'un ne devant pas empêcher l'autre cependant.

Dans cette perspective le chargé de contrôle est un pôle essentiel, ligne de défense contre les défauts potentiels de qualité, la première ligne reposant sur le professionnalisme de l'intervenant.

1.4.2 Les chargés de contrôle forment la boucle de premier niveau

Bien évidemment la fonction de chargé de contrôle n'est pas une « découverte » datant du rapport NOC : elle était mise en œuvre depuis longtemps sur les sites. Le réexamen des conditions de la sûreté en exploitation, entrepris par le groupe *ad hoc* en 1990, a cependant conduit à préciser et clarifier les termes de cette notion.

La mission générale du chargé de contrôle consiste à exercer la surveillance et le contrôle au niveau du chantier, à partir des documents d'intervention préalablement définis et validés par le site. La mission recouvre les aspects suivants :

- dans le domaine de la surveillance : vérification du dossier, respect des conditions générales de l'exécution (conformité des biens et services fournis, qualité des moyens techniques et humains), coordination générale du chantier et de ses interfaces, application des modes opératoires, conditions de traitement des anomalies, suivi des requalifications après intervention ;
- dans le domaine du contrôle : qualité des documents, conformité de l'exécution aux exigences de qualité définies dans le Plan de Qualité (PdQ), détection des écarts par rapport au PdQ et mise en oeuvre des actions correctrices et préventives.

Comme l'indique le document qui, à Saint Alban, sert de « charte » du chargé de contrôle, *"la mission du chargé de contrôle est d'être le représentant d'EDF vis-à-vis des entreprises extérieures et d'être le garant des intérêts d'EDF dans les domaines suivants : respect des règles d'organisation liées à la sûreté des installations ; maintien en parfait état des installations et des outillages ; contrôle des dépenses ; maîtrise des plannings d'intervention."*

"Le rôle du chargé de contrôle correspond à un suivi technique et gestionnaire. Le suivi technique comprend la surveillance (article 4 de l'Arrêté Qualité) et, selon les cas, le contrôle des activités (article 8 de l'Arrêté Qualité). Mais aussi l'application intégrale des dispositions particulières définies par le site dans la partie technique des contrats. Le suivi gestionnaire est, quant à lui, basé sur l'application des dispositions commerciales et administratives de ces mêmes contrats."

Il faut bien noter que le chargé de contrôle n'assure pas lui-même le contrôle technique des actes élémentaires effectués par les intervenants au cours de l'opération : il ne remplace pas le contrôleur technique appartenant à l'entreprise prestataire. Chacun d'eux opère dans un domaine différent.

Le chargé de contrôle est un agent EDF de la spécialité dominante du chantier et son niveau de compétence acquise, par expérience professionnelle ou formation, doit être adapté à la nature de l'activité réalisée. Cette compétence est le résultat d'une formation spécifique adaptée, alliée à une expérience de terrain. Le chargé de contrôle doit obtenir une habilitation adaptée (au moins SN2).

La mission du chargé de contrôle est exercée en liaison étroite avec la mission de préparation. Il doit donc avoir pris connaissance au préalable de l'ensemble des dossiers techniques de réalisation et de suivi de l'intervention : Ordres d'Intervention avec tous les documents applicables, PdQ, procédures et modes opératoires, conditions du choix des prestataires, parties financières des commandes, documents annexes (permis de feu, ouverture-fermeture de trémies, accès en zone, entrée de matériels...).

Le chargé de contrôle fait partie des structures opérationnelles et à ce titre doit participer aux réunions d'enclenchement ; il peut d'ailleurs être sollicité pour sa préparation (p.ex. rédaction d'une fiche Logistique listant les servitudes nécessaires et les prestations éventuelles d'autres sections du CNPE (DIG : Demandes d'Intervention générées), échafaudages, dépose de capteurs, etc.).

Dans la phase de suivi de l'intervention ⁽¹⁹⁾, il est l'interlocuteur privilégié du prestataire sur le chantier, représentant du maître d'ouvrage ; son activité dépend cependant du type de chantier et du « cas » dans lequel intervient le prestataire (c'est-à-dire du degré d'autonomie qui est laissé au prestataire en fonction de la performance estimée de son système d'assurance qualité). Comme l'indique bien la note d'organisation de Saint Alban *"la présence du chargé de contrôle sur le chantier ne doit donc ni être permanente, ni être virtuelle."*

Le chargé de contrôle participe également à la réunion de levée des préalables. Cette réunion se tient juste avant le début du chantier et rassemble de façon systématique le chargé de contrôle du CNPE, le chargé de travaux de l'entreprise prestataire, le chargé de contrôle de l'entité EDF (pour des prestations confiées à une entité EDF), le contrôleur technique de l'entreprise prestataire. La réunion de levée des préalables est l'occasion de constater d'éventuelles modifications depuis la réunion d'enclenchement et de préciser tous les préalables au début de l'intervention. La réunion peut éventuellement être l'occasion d'ajouter des points de notification sur le PdQ de l'intervention. A l'issue de la réunion, une fiche réflexe est rédigée, qui fait le point des conformités et non-conformités relevées pour un ensemble de préalables : vérification des habilitations, examen du dossier d'intervention, conformité des documents applicables, etc.

Le chargé de contrôle reçoit normalement des pouvoirs réels de sa hiérarchie. En particulier il a le pouvoir d'arrêter un chantier en cas de manquements graves du prestataire, par exemple s'il estime que les conditions requises de sûreté, qualité, sécurité, propreté, radioprotection, etc. ne sont pas remplies. Il surveille également le déroulement du chantier vis-à-vis du planning. Au plan de la sûreté, il utilise comme référence les documents d'intervention, notamment le PdQ, et lève les points d'arrêt et points de convocation qui le concernent ; il se tient au courant des fiches de non-conformité et d'anomalies qui auront pu être émises en cas d'aléas découverts au cours de l'intervention et il en suit le traitement au titre de la surveillance. En fin de chantier, il vise la séquence « PdQ correctement renseigné » et s'assure du bon repli de chantier (propreté, gestion des outillages, gestion administrative et technique des DMP, etc.).

Le chargé de contrôle déclenche enfin et pilote la réunion de fin de chantier. Celle-ci rassemble au minimum le chargé de travaux et le chargé de contrôle ; celui-ci peut convoquer si besoin est le responsable de l'activité, le préparateur concerné, le chef d'arrêt. La réunion est destinée à dresser un bilan du déroulement du chantier et à rédiger divers documents y afférents. Il revient également au chargé de contrôle de préparer la réunion de retour d'expérience, dont l'objet consiste à tirer de l'intervention tous les enseignements utiles aux interventions futures.

J'ai pu constater sur le terrain le grand sens de la responsabilité qui anime les quelques chargés de contrôle que j'ai pu rencontrer. Au-delà du respect des exigences générales que l'on peut attendre d'un chantier (sécurité du travail, radioprotection, propreté...), il va de soi que la plus-value apportée par le chargé de contrôle ne prend tout son sens que si son action s'appuie sur un PdQ correctement constitué.

¹⁹ Qui commence dès l'accueil de l'entreprise sur le chantier pour se terminer au départ des intervenants.

C'est ainsi que, sur la prestation de requalification du niveau cuve effectuée par Framatome à Saint Alban lors de l'arrêt de novembre 1996, le chargé de contrôle de l'Équipe commune avait quelque mal à définir et hiérarchiser des priorités pour effectuer sa mission de contrôle. L'analyse de risque effectuée par Framatome⁽²⁰⁾ était très sommaire puisque le PdQ en découlant mentionnait simplement le découpage de l'opération entre arrêt à froid et arrêt à chaud du réacteur. En fait ce « PdQ qui n'en était pas un » se contentait d'indiquer le fait que Framatome mettait en oeuvre une certaine procédure pendant l'arrêt à froid et une autre pendant l'arrêt à chaud. Le document ne comportait en lui-même aucune valeur ajoutée vis-à-vis de la maîtrise des risques.

Dans ces conditions il n'est pas étonnant que le chargé de contrôle se soit trouvé dans une grande difficulté pour saisir quels pouvaient être les points sensibles de l'intervention, non pas au niveau technique — puisque Framatome maîtrise parfaitement une intervention qu'elle réalise sur les réacteurs 1300 MW à chaque arrêt de tranche — mais au niveau des interactions possibles avec les exigences de sûreté du site *hic et nunc*. Il était dans l'impossibilité de définir des « lieux » de contrôle (par exemple par sondage sur le chantier) et limitait son intervention à donner les tops de départ, de surveillance et de fin, et à répondre aux appels de la conduite.

Même si, bien évidemment, la qualité intrinsèque de l'intervention effectuée par Framatome n'a jamais été prise en défaut, la gestion de l'intervention ne répondait pas aux principes de la démarche Qualité Sûreté. Il est vrai que pour une prestation de ce niveau de technicité, il est certainement très difficile de cerner quel peut être le degré de contrôle susceptible d'être imposé par une personne non spécialiste.

Toujours est-il que ce genre de défaillance dans le fonctionnement de l'organisation de la Qualité montre tout l'intérêt de disposer d'une deuxième boucle de contrôle.

1.4.3 Les Missions Sûreté-Qualité forment la boucle de deuxième niveau

Le rapport NOC avait été l'occasion pour EDF de s'interroger à nouveau sur l'ensemble des missions assurées au sein d'une centrale nucléaire. Parmi celles-ci se dégageait le domaine de l'assistance et de la vérification en matière de Sûreté-Qualité. L'exercice des missions correspondantes est dévolu, sur chaque site, à la Structure Sûreté-Qualité (SSQ) placée sous la responsabilité d'un chef de service (autorité hiérarchique directe) et / ou d'un chef de mission (membre du comité de direction du site). L'ensemble forme ce qui est connu sous le nom de Mission Sûreté-Qualité (MSQ).

Une réflexion a été menée au début de 1991 sur l'évolution des MSQ afin d'étendre leurs missions à tous les domaines d'activité d'un site nucléaire, notamment vers la maintenance, très peu concernée jusqu'alors.

Rappelons que, sur les sites nucléaires, la responsabilité de la sûreté incombe à la hiérarchie opérationnelle et obéit au principe de délégation : le directeur de CNPE assure la responsabilité d'ensemble et délègue la responsabilité de la sûreté et de la qualité, dans

²⁰ Framatome, intervenant en « cas 1 » pour l'opération de requalification du niveau cuve (dans le cadre d'une commande nationale passée par la Direction de l'Équipement), était habilitée à pratiquer elle-même l'analyse de risque et la rédaction du PdQ (cf. passages consacrés à la politique Prestataires).

leur domaine d'activité, aux diverses branches de la ligne hiérarchique. La fonction de vérification constitue une activité indépendante qui est confiée à la SSQ. Il faut donc bien voir que la SSQ n'assure pas les fonctions de sûreté sur le terrain : elle est seulement en second rideau.

Les MSQ exercent fondamentalement trois missions, qui portent sur l'ensemble des activités du site (conduite, maintenance, formation). Elles concernent aussi bien les aspects techniques que les aspects organisationnels et humains. Elles s'exercent en permanence, quel que soit l'état de la tranche :

- *la mission d'analyse* consiste à étudier les dysfonctionnements, écarts et incidents, de nature matérielle ou organisationnelle, à proposer des solutions et à assurer un suivi des solutions retenues ; cette analyse peut également porter sur les événements d'exploitation survenus sur d'autres sites ; l'analyse s'effectue indépendamment ou en complément de celle réalisée par le ou les services opérationnels concernés, en s'assurant notamment de la pertinence et de l'exhaustivité des informations ;
- *la mission de conseil et assistance* consiste à : 1/ conseiller le directeur de CNPE pour l'élaboration de sa politique en matière de sûreté et de qualité ; 2/ apporter une aide méthodologique pour analyser et résoudre les problèmes ; 3/ participer à la formation du personnel des différents services dans le domaine de la sûreté et de la qualité et à la promotion de la culture de sûreté-qualité au sein des services ; 4/ d'assurer un rôle pilote pour l'élaboration des bilans de sûreté ; on voit que, au vu de cette définition, la MSQ doit jouer le rôle d'une « conscience de sûreté » pour l'ensemble des acteurs du site ;
- *la mission de vérification* consiste à : 1/ s'assurer du respect, en toutes circonstances, des règles générales d'exploitation, des règles de base de la qualité et plus généralement de toutes les prescriptions locales concernant la sûreté et la qualité ; 2/ évaluer périodiquement l'efficacité et l'adéquation des organisations mises en place pour obtenir et maintenir la qualité requise ; 3/ évaluer la conformité des installations au référentiel des exigences de sûreté ; 4/ participer à l'auto-évaluation du CNPE dans les domaines définis par l'Inspection nucléaire ; la mission de vérification est celle qui complète le plus, en deuxième rideau, la mission de contrôle exercée par le chargé de contrôle ; elle est effectuée par sondage à l'aide d'audits, d'enquêtes ou d'évaluations programmées ou non ; cette règle du sondage, d'application générale dans le domaine nucléaire, vise à garantir la qualité du contrôle exercé sans déresponsabiliser la ligne opérationnelle ; par ailleurs, lors de certaines phases jugées particulièrement importantes du point de vue de la sûreté, la SSQ effectue une vérification en temps réel.

Si l'on replace cette mission de vérification dans la perspective de l'arrêté Qualité de 1984, et plus particulièrement de son article 9, on peut dire qu'elle consiste à vérifier l'application dans des conditions satisfaisantes des dispositions prévues en matière de qualité portant notamment sur : la définition des exigences de qualité pour les activités, en rapport avec leur importance pour la sûreté ; l'adaptation des moyens techniques et

humains pour permettre leur bonne exécution ; l'existence d'un contrôle technique adapté. En particulier la présence, la bonne élaboration et la mise en oeuvre des plans de qualité associés aux différentes interventions doivent être vérifiées.

Le rapport NOC notait aussi que la fonction d'Ingénieur Expert Matériel semblait mal adaptée à l'accomplissement des activités d'assistance-vérification dans le domaine de la maintenance. En effet son activité d'expert en maintenance paraissait difficilement pouvoir être conjuguée, en alternance, avec l'activité d'analyse de sûreté normalement associée à toute vérification, qui requiert indépendance d'action et de jugement vis-à-vis des opérationnels.

La MSQ exerce également d'autres missions, comme par exemple la mise à jour pour le site des Règles générales d'Exploitation et du manuel Qualité. Son rôle en situation incidentelle ou accidentelle est défini par une Instruction nationale spécifique (IN 20).

Les MSQ accueillent : 1/ des ingénieurs Sûreté, habilités pour la conduite incidentelle et accidentelle ; 2/ un ingénieur Sûreté détaché pour chaque arrêt de tranche ; 3/ des ingénieurs (souvent appelés ingénieurs Sûreté-Qualité) et cadres chargés de mission dans les domaines de la maintenance et de la qualité. A Saint Alban, on trouve ainsi le chef MSQ membre du comité de direction, un chef du service SSQ, deux ingénieurs Sûreté-Qualité, 5 ingénieurs Sûreté (parmi lesquels est pris l'ingénieur Sûreté détaché sur l'arrêt de tranche), un pôle d'ingénierie qualité composé de deux cadres techniques et un contremaître principal.

Le recentrage des activités des MSQ hors du strict domaine réservé de la conduite a généralement été ressenti comme un « plus » pour le fonctionnement général du site et la diffusion d'une culture de sûreté. *"Les MSQ ont évolué dans le bon sens"* estimait P. DONNART (CFDT) lors de notre entretien du 6 février dernier. Mais il ajoutait que *"l'activité de conseil a quasiment disparu. Les MSQ font beaucoup trop d'audits sur les chantiers alors que les problèmes principaux viennent des préparations ; la MSQ devrait aller les conseiller."* Par ailleurs l'un des rôles de la MSQ, pour la CFDT, serait également de mieux irriguer les services par des échanges de personnes : *"les gens restent trop longtemps en MSQ"* estime F. DUPONT ; il faudrait prendre des personnes dans les services opérationnels, les « baigner » dans la culture de sûreté dont la MSQ doit être dépositaire, puis les replacer dans les services ; cette façon de faire démultiplierait, pour la CFDT, l'efficacité des actions entreprises par les MSQ.

Pour sa part la Division des Installations nucléaires de la DRIRE Rhône Alpes estime que l'efficacité des MSQ sur le terrain est très variable (en particulier pour la surveillance des chantiers). De façon générale les MSQ sont jugées *"faibles"* pour la surveillance des prestataires. De plus *"la reconnaissance par les services opérationnels n'est pas encore acquise."*

Mais même avec un contrôle renforcé, un recentrage réussi sur la maîtrise d'ouvrage suppose une refonte des relations avec les prestataires.

2. L’AFFIRMATION DE LA POLITIQUE PRESTATAIRES

Une politique Prestataires est par nature un ensemble complexe d’orientations et de décisions dont les répercussions sur la marche de l’entreprise, voire sur sa nature même selon certains, peuvent être tout à fait importantes. Au regard de la sûreté, une politique Prestataires doit s’intégrer dans un réseau varié d’interactions : politique des compétences, politique générale de maintenance, politique d’emploi interne, insertion dans l’environnement industriel, prise en compte du cadre juridique, politique de sécurité des travailleurs et des conditions de travail...

Je concentrerai ici mon propos sur trois points majeurs : la pratique du partage des tâches entre le maître d’ouvrage et ses prestataires, qui touche à un paramètre aussi essentiel que la maîtrise des compétences ; les modes de sélection des prestataires, qui doivent garantir *a priori* un niveau suffisant de qualité débouchant sur une garantie de sûreté ; la gestion temporelle des relations entre EDF et ses prestataires, qui conditionne pour une large part la stabilité mutuelle des compétences.

2.1 Le partage des tâches entre EDF et les prestataires semble devoir se stabiliser

2.1.1 Le dilemme « faire ou faire faire » continue de susciter de nombreux débats

Parmi les nombreux sujets de discorde entre la direction d’EDF (Exploitation du Parc nucléaire) et ses syndicats, celui du partage entre « faire » et « faire faire » n’est pas le plus récent. J’aurai presque tendance à dire qu’il est aussi ancien que la présence du premier prestataire sur un site EDF... La question première du dilemme « faire ou faire faire » est évidemment : faut-il faire appel à la sous-traitance, et si oui dans quelle mesure ? Une question corollaire (pour le domaine qui me concerne plus spécialement) est : le recours à la sous-traitance amène-t-il des risques au regard de la sûreté nucléaire ? à quelles conditions ?

Les points de cristallisation du débat sont au nombre de deux : le partage doit permettre à EDF d’exercer ses responsabilités de contrôle ; le partage doit conserver à EDF la maîtrise technique de son installation.

Conformément à sa politique de décentralisation, le Parc nucléaire a donné des grandes lignes de comportement aux sites, charge à eux de les décliner au plan local en fonction de leurs environnements interne et externe, de leur « culture » propre ou des lignes stratégiques tracées par la direction du site. Une note de l’Exploitation du Parc nucléaire ⁽²¹⁾ indique ainsi que *“l’exploitant EDF entend conserver à tout moment la maîtrise des opérations de maintenance réalisées sur ses installations, ce qui signifie qu’il assure a minima la maîtrise des activités suivantes : le suivi permanent des matériels ; l’ingénierie ; la préparation, la planification, l’ordonnancement, le*

²¹ EDF-Production Transport, Exploitation du Parc nucléaire, *Maintenance du Parc nucléaire EDF. Politique vis-à-vis des prestataires*, novembre 1995. La note mentionnée ici ne constitue pas un document officiel de doctrine adressé aux sites ; il illustre simplement la politique décidée et mise en oeuvre par EDF. De véritables éléments de doctrine pourraient être trouvés par exemple dans une note EDF-EPN, *Appel aux prestataires du parc nucléaire*, 30 avril 1993, ou une note EDF-EPN, *Politique de relations industrielles d’EDF Production Transport*, février 1993 (peut-être révisées depuis).

lancement, la conduite et le contrôle des opérations de maintenance, la coordination des intervenants, l'analyse des résultats et l'exploitation du retour d'expérience ; l'élaboration des méthodes ; le contrôle de prestataires. "

"Bien entendu, pour certaines de ces activités (ingénierie, coordination des intervenants dans le cadre de prestations intégrées et élaboration de méthodes pour certaines interventions), EDF est, en tant que de besoin, amené à s'appuyer sur les compétences de prestataires, en particulier celles des constructeurs."

"Par ailleurs, le personnel EDF effectue les opérations de maintenance qui permettent de recouvrer, dans des délais courts, la disponibilité du matériel. Il exécute également d'une manière périodique certaines interventions qui lui permettent de conserver la maîtrise du geste technique et de pouvoir ainsi contrôler les prestataires." Le rapport NOC indiquait aussi en son temps que *"l'exécution est indispensable pour des spécialités définies et pointues (automatismes) difficilement sous-traitables et des interventions visant le maintien de la disponibilité ou de la sûreté à court terme (« tranche en marche »)."*

1. Le premier lieu du débat consiste donc à savoir si le recours à la sous-traitance menace ou préserve la maîtrise technique des installations par l'exploitant, responsable de la sûreté devant les autorités. Dans cette optique et d'après les indications qui m'ont été données lors de la réunion à l'EPN le 20 novembre, EDF veut au minimum garder en savoir-faire direct les interventions sur les matériels « sensibles » et quelques autres métiers importants (mécanique, chaudronnerie).

On remarquera que ces domaines sont ceux qui sont les plus directement associés au métier d'exploitant nucléaire. Le premier, car on y compte des dispositifs aussi importants que le système de contrôle de la réactivité ; le second car on y trouve par exemple les compétences nécessaires à la bonne maîtrise du comportement du circuit primaire. Les responsables du Parc m'ont ainsi indiqué qu'il était inconcevable qu'EDF adopte la politique retenue à Doel et Tihange (Belgique) où, m'a-t-il été dit, il n'y a plus de compétences internes pour la mécanique et l'électromécanique.

L'IPSN rejoint pour une part cette vision des choses : il considère qu'un certain nombre de tâches doivent rester du ressort de l'exploitant, en particulier pour la maîtrise des systèmes de sûreté. En effet en cas de défaillance d'un système de sûreté, l'exploitant doit pouvoir effectuer un diagnostic exact et rapide lui permettant d'appliquer les Spécifications techniques d'Exploitation dans les meilleurs délais. Par ailleurs il doit être à même de faire les gestes susceptibles de pallier cette défaillance en attendant les réparations plus importantes qui, s'il y a lieu, seront effectuées par un prestataire extérieur au CNPE (interne ou externe à EDF). L'IPSN considère également que l'exploitant doit conserver une maîtrise technique opérationnelle en matière de contrôles non destructifs ; il s'agit dans ce cas précis de pouvoir contrôler les interventions des prestataires en effectuant quelques CND par sondage ; cette recommandation découlait directement de la fraude de Dampierre constatée en 1992.

2. Un autre des arguments avancés par les promoteurs du « faire » consiste à dire que l'on ne peut bien contrôler que si l'on sait faire soi-même. La direction d'EDF n'est

pas systématiquement de cet avis. Non sans quelque malice, mes interlocuteurs de l'EPN remarquaient que le contrôle de la DSIN est efficace sans que la DSIN soit un exploitant nucléaire ; de même l'action de l'Office parlementaire dans le « contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires » montrerait que l'on peut bien contrôler sans savoir faire soi-même... Attention, trop d'éloges est suspect !

Plus sérieusement il semble que la religion d'EDF sur cette question soit établie depuis longtemps. Le rapport NOC estimait déjà que *"le fait de « savoir faire en ayant fait » retire souvent de l'assurance ou de l'autorité au contrôleur"*. Il remarquait aussi que *"cette analyse est semblable à l'approche faite par certains pays étrangers comme le Japon ou la RFA par exemple"*.

Comment ne pas voir que toute prise de position sur cette dimension du débat repose sur la conception que l'on se fait du contrôle ? *"La notion de contrôle doit être revisitée"* disais-je dans mon rapport de 1991. Si l'on pense que le contrôle doit inclure la vérification de la pertinence des gestes techniques accomplis par l'intervenant extérieur, alors il est vrai que le savoir-faire aide au contrôle. Si l'on pense au contraire que celui-ci consiste à s'assurer que l'intervention répond bien aux exigences de sûreté définies par le maître d'ouvrage, commanditaire des travaux, alors la maîtrise technique est moins essentielle au contrôle. C'est justement cette dernière direction qui a été choisie par EDF.

3. Il me semble enfin, d'après la teneur de mes entretiens avec les syndicats, que le débat s'est légèrement déplacé : à l'exception de la CGT, toujours farouchement opposée à la sous-traitance, la plupart de mes autres interlocuteurs se sont déclarés « ouverts » sur le principe du recours à la sous-traitance. Au mieux, ils estiment qu'il convient de ne pas dépasser les proportions actuelles dans la répartition des tâches, au pire ils estiment qu'il faudrait rectifier le tir sur certains domaines. En tous les cas ils pensent que les conditions du débat n'ont pas été correctes. C'est ainsi que, selon ce que j'ai ressenti à leur écoute, les reproches se développent dans deux directions :

- le développement de la sous-traitance dans le domaine « tertiaire » soulève quelques inquiétudes ; la CFDT déplore par exemple le recours quasi systématique à la sous-traitance pour des tâches de dactylographie à la documentation ; elle estime que, bien qu'activité tertiaire, la documentation contribue à la sûreté et rappelle que certains incidents sont dus à des défauts dans la documentation, dont des erreurs de frappe ; ce constat rejoint parfaitement des indications données concurremment par EDF et par la DRIRE Rhône-Alpes : on sait que l'analyse des incidents commence *a minima* par la caractérisation de leur nature et leur classement dans des catégories, dont la documentation fait partie ; par ailleurs la CFDT dénonce également ce que je pourrais appeler « l'emploi précaire permanent », j'entends par là la reconduction d'année en année de salariés embauchés sous contrat à durée déterminée par les CNPE : certaines personnes seraient présentes sur les sites depuis plusieurs années, en CDD, sur des postes considérés comme « fixes » ; toujours au chapitre de la sous-traitance « tertiaire », la CFDT m'a informé que la rédaction des CSCT proposés par l'UTO aux prestataires nationaux est elle

aussi confiée à des prestataires extérieurs ; globalement les syndicats jugent ainsi qu'une part importante du débat « faire ou faire faire » a été escamotée ;

- l'absence de débat avec les salariés : curieusement, — et peut-être heureusement — la direction du Parc nucléaire et les syndicats se rejoignent partiellement sur ce point ; comme en écho aux regrets des syndicalistes que j'ai rencontrés, B. DUPRAZ m'indiquait que la politique du faire faire est *"une rupture profonde avec les pratiques traditionnelles d'EDF, qui nécessite une réflexion de fond avec l'ensemble des acteurs du terrain (chefs de service, contremaîtres, préparateurs...)"* ; une note de l'UTO préparée à l'occasion de mes entretiens à l'EPN le 20 novembre 1996 estimait aussi que *"le management doit s'impliquer en terme d'explication aux agents, compte tenu de la sensibilité particulière de ceux-ci aux difficultés touchant l'emploi externe"* ; la préférence des syndicats semble aller à la discussion de ces orientations jusqu'au niveau de l'atelier, afin que l'ensemble des agents puissent prendre la mesure des enjeux et adhérer pleinement à la politique choisie *in fine* ; mais est-il encore besoin de réclamer un débat ? la Direction du Parc puis les directions des sites ont tranché dans leur coin, sans concertation, m'a-t-il été affirmé.

Il est vrai que, clos ou non, le débat sur le partage des tâches n'a pas empêché les sites de mettre au point leur politique industrielle.

2.1.2 Les sites ont défini aujourd'hui des « politiques industrielles »

Comme l'indique la note UTO citée plus haut, *"la plupart des sites a mené à bien l'analyse FAIRE-FAIRE FAIRE des activités de maintenance. Les évolutions du curseur ont principalement concerné certains CNPE 4 tranches et plus marginalement des CNPE 2 tranches. On peut estimer ce chantier stabilisé aujourd'hui."* Dans ce "chantier", le CNPE de Gravelines occupe une place particulière.

Il a développé depuis 1993 une démarche présentée comme exemplaire par le Parc nucléaire. Gravelines définit la politique industrielle comme les *"règles préétablies définissant les modalités de mise en oeuvre des compétences internes et externes. La répartition et la complémentarité de ces compétences permettent d'assurer la sûreté de fonctionnement de l'outil de production, en particulier dans le domaine de la maintenance. L'organisation Qualité conçue en fonction de cette complémentarité contribue aux meilleurs choix technico-économiques qui intègrent la dimension sociale dans son application."* On voit bien sûr que l'objet des politiques industrielles dépasse largement la simple définition du partage entre faire et faire faire.

En se limitant cependant à cet aspect des choses, la démarche de Gravelines peut être sommairement présentée comme suit :

- définition des enjeux de la politique industrielle, en particulier pour améliorer la qualité de la maintenance afin d'assurer la sûreté de fonctionnement des installations et la sécurité des intervenants, ainsi que pour *"préciser clairement et pour l'ensemble du site les activités que l'on veut faire, pour satisfaire nos*

exigences de qualité et de coût : définir les compétences qui nous sont nécessaires pour maîtriser et garantir la sûreté et la disponibilité de l'outil de production" ;

- **rappel des principes à prendre en compte** : pour les actions internes, il s'agit d' *"expliciter les évolutions des métiers de la maintenance pour disposer sur le site des compétences qui nous sont nécessaires pour maîtriser et garantir la qualité ; nous recentrer sur notre métier de base de producteur d'électricité ; assurer le bon et plein emploi des agents EDF ; [...] sous-traiter ce qui peut être mieux fait par d'autres dans de meilleures conditions technico-économiques ou ne correspondant pas à une activité continue ; [...]"*
- **définition des éléments de la politique industrielle** : politiques de maintenance, de ressources humaines, d'application locale des démarches du Parc ; recensement des domaines d'activité, des compétences acquises et souhaitées, etc.
- **création de 2 groupes de travail** consacrés respectivement à la politique industrielle et à l'évolution des métiers de la maintenance ; création de 10 sous-groupes par famille d'activités ⁽²²⁾ chargés de réfléchir, dans leur domaine, à l'évolution des métiers et compétences internes ainsi qu'aux conditions d'appel aux prestataires ;
- **mise au point d'une grille d'analyse** « faire ou faire faire » et application de cette grille à chaque activité ;
- **récapitulation par domaines puis familles d'activités** ; prévisions pour les arrêts de tranche à venir.

Le CNPE de Gravelines a classé les activités en quatre catégories : **A** = le CNPE fait systématiquement ; **BA** = le CNPE fait au moins en partie mais peut faire faire ; **BC** = le CNPE fait faire mais peut faire ; **C** = le CNPE fait faire systématiquement. Une petite brochure a été éditée en mars 1995, qui trace le résultat de ce classement pour les Machines tournantes, l'Électricité, la Logistique nucléaire, les Automatismes et les Machines statiques. Le tableau présenté sur les pages suivantes donne quelques exemples tirés de cette brochure. On remarquera — et c'est pour cette raison que j'en reproduis justement ici quelques extraits — que le classement de chaque activité est accompagné d'une brève justification.

²² Les activités du CNPE avaient été regroupées en familles : **Supports techniques** (chimie, environnement, essais, sécurité-radioprotection) ; **Combustible, déchets, servitudes** (assainissement, calorifuge, combustible, décontamination, échafaudages, gardiennage zone contrôlée, manutention du combustible, pontiers, servitudes classiques, servitudes nucléaires) ; **Matériels statiques** (chaudronnerie, CND, colmatage, contrôles réglementaires, etc.) ; **Matériels tournants** (climatisation-ventilation, électromécanique, mécanique) ; **Électricité** (contrôles réglementaires, courants forts, protections électriques) ; **Automatismes** (courants faibles, électronique, informatique industrielle, instrumentation) ; **Logistique** (coordination Grands chantiers, dessin, études, ITV, magasinage, etc.) ; **Hors outil de production** (achats, administration, communication, comptabilité, documentation, formation, gardiennage site, etc.) ; **Génie civil** ; **Métriologie de site**.

M. DUPONT, de la CDFT, reconnaissait volontiers que les actions menées par Gravelines sont effectivement bien structurées et peuvent être considérées comme exemplaires. Pour autant il convient de savoir si le cas de Gravelines n'est qu'une heureuse exception ou s'il correspond à une réalité largement partagée. Il faut admettre que le CNPE de Gravelines a su valoriser certaines circonstances favorables, comme par exemple la présence d'un bassin d'emploi industriel tout à fait significatif. Les CNPE situés dans des zones de tradition industrielle moins marquée ont-ils poussé aussi loin la démarche ?

Plus généralement je me demande quelle est la part de volontarisme et la part de fatalité qui sous-tendent la définition du partage. Je me souviens avoir entendu dire par exemple lors de certains entretiens à Saint Alban que *"la politique industrielle du site est la traduction écrite des pratiques de la décennie passée"* ou encore *"en matière de politique industrielle, Saint Alban a surtout cherché à justifier ses pratiques"*. Au-delà de ces appréciations ponctuelles, plusieurs de mes interlocuteurs syndicalistes ont eux aussi mentionné l'ambiguïté des politiques industrielles, qui n'auraient de « politique » que le nom et seraient simplement une codification des pratiques quotidiennes sous une appellation pompeuse.

FAIRE OU FAIRE FAIRE.

Les clés de la politique de maintenance du CNPE de Gravelines

ACTIVITÉ	Classe	COMMENTAIRE
Électricité		
Mise en service des réalimentations électriques des tableaux	A	L'activité nécessite des adaptations de programmation en temps réel avec la conduite
Entretien des équipements mobiles des tableaux	BA	Il faut faire périodiquement pour connaître le matériel et conserver le professionnalisme
Entretien des tableaux électriques 6,6 kV/380 V	BC	L'activité est sans technicité particulière mais nous devons l'avoir vue ou faite pour acquérir la connaissance de l'installation
Contrôles thermographiques	C	Les compétences existent au sein d'une entité EDF ou GDF mais hors site
Machines tournantes		
Fortuit sur la pompe RIS 11 PO	A	Le réglage doit être effectué par des agents spécialisés et connus de tous, garantie d'une réactivité nécessaire à la disponibilité
Visite type C (compresseurs et moteurs) ; visite type D (pompes 380, groupes RCV, RRA)	BA	Cette activité étant délicate, elle requiert le maintien du savoir-faire d'agents expérimentés
Visite type B1 compresseurs, groupe froid, groupe électrogène, GTA, pompes, ventilateurs	BC	Activité dont le savoir-faire est couvert par une activité à plus forte technicité, classée A ou BA
Visite type D diesel, etc.	C	L'activité ne demande pas de technicité particulière ou ne fait pas partie du métier d'exploitant nucléaire
Logistique nucléaire		
Déchets : conditionnement en coques	A	Le CNPE est responsable du conditionnement des déchets pour garantir le respect de l'environnement ; les spécifications ANDRA sont évolutives, ce conditionnement nécessite des spécialistes et peut être repris
Combustibles : maintenance et mise en oeuvre des outillages spécifiques	BA	Il faut faire cette activité une fois par an pour garder la maîtrise des outillages spécifiques
Servitudes : autres filtres, échafaudages, calorifuge, mise en oeuvre des moyens de pompage, confinement chantiers	BC	C'est une activité ne nécessitant pas de faire pour conserver le savoir-faire mais interventions possibles en astreinte

Décontamination	C	Pour maîtriser et optimiser l'activité, le CNPE réalise la préparation et le contrôle de l'intervention et sous-traite l'exécution
Déchets : résines échangeuses d'ions	C	Le CNPE n'a pas la maîtrise du process
Automatismes		
Dépannage tranche en marche : chaînes de régulation, relayage, systèmes spécifiques (RPN, GRE...)	A	L'activité est étroitement liée aux éléments de conduite de la centrale et le maintien de la sûreté impose que le CNPE fasse tout
Contrôle global du RGL	BA	On doit maintenir une double compétence : celle d'EDF et celle du constructeur
Capteurs ANA tranche à l'arrêt	BC	C'est une activité répétitive
Capteurs TOR tranche à l'arrêt	C	On fait tout faire tranche à l'arrêt car les dépannages tranche en marche garantissent le maintien des compétences
Machines statiques		
Tournée robinetterie, diagnostic et levée des soupapes, mise en place de DMP, tests de maintenance conditionnelle	A	Une intervention est classée A car la sous-traiter remettrait en cause la maîtrise de la maintenance par EDF
Robinets complexes, clapets, soupapes, soudures, chaudronnerie (ouverture/ fermeture de trous d'homme, lessivage, etc.)	BA	Activité à forte valeur ajoutée, nécessitant de faire pour savoir faire
Autres robinets, ouv/ferm des capacités primaires et secondaires, etc.	BC	Activité sans forte valeur ajoutée, ou dont le savoir-faire est acquis ou conservé par une activité à plus forte valeur ajoutée
Colmatage de fuite, réparation de trou de goujon, contrôle goujons cuve, etc.	C	C'est une activité de spécialiste de haut niveau
Métallerie, tôlerie, gaines de ventilation, nettoyage station de pompage, etc.	C	L'activité est de très faible technicité

Extraits de la brochure éditée par Gravelines

Quoi qu'il en soit, ceci n'est pas « répréhensible » : les pratiques passées correspondent normalement à un contexte local défini et à une volonté, ou un faisceau de volontés, affirmé(es). Une action ultérieure d'interrogation, de formalisation et de justification a par elle-même une vertu structurante. Rien n'empêche d'ailleurs qu'elle débouche sur des remises en cause. Encore faut-il qu'il y ait un véritable questionnement stratégique sur le site et que la politique industrielle ne se limite pas à la simple rédaction d'une brochure sur papier glacé.

Inutile de dire enfin que, pour les syndicats unanimement confondus, la principale clef de répartition, sinon l'unique, entre faire et faire faire est budgétaire : une activité sera-t-elle plus ou moins coûteuse selon qu'elle sera faite par le CNPE ou par un prestataire extérieur ? Il est vrai que le message de la compétitivité a été relayé avec force au niveau des sites mais je pense qu'il est peut-être un peu excessif de lui faire porter le chapeau en toutes circonstances. Il appartient de toute façon au directeur de CNPE, responsable de la sûreté de son installation, d'effectuer « en son âme et conscience » les arbitrages nécessaires.

2.2 Le choix des prestataires vise à garantir la sûreté des interventions

Un partage des tâches bien charpenté et justifié n'est rien s'il ne s'accompagne pas d'une sélection des prestataires obéissant à certains principes de rigueur. Ceux-ci trouvent à s'appliquer au stade de la constitution *a priori* d'un panel de prestataires habilités à exercer sur les sites nucléaires comme au stade de la passation des contrats pour des interventions déterminées.

2.2.1 Les critères de sélection des prestataires se sont renforcés

La qualification des prestataires constitue une réponse essentielle pour améliorer la sûreté dans les activités de maintenance. Les principes en sont explicités dans la directive Parc DI 53. La qualification d'un prestataire *"consiste à lui reconnaître explicitement et formellement les capacités à contribuer d'une manière efficace à l'atteinte des objectifs de l'EPN et à poser avec lui les bases d'une démarche de progrès destinée à renforcer la qualité globale de ses prestations."* (23)

Avant 1995 la sélection initiale des prestataires résultait seulement de l'examen de leur système d'assurance qualité. Déclinant en termes pratiques les exigences réglementaires contenues dans l'arrêté Qualité de 1984, le Manuel National d'Organisation de la Qualité prévoyait la mise en place au niveau national d'une organisation qui permettrait, par des enquêtes initiales, de suivi et de renouvellement faites auprès des prestataires, chez eux ou sur site lors des interventions, de connaître et vérifier pour chacun d'eux la validité de leur organisation de la Qualité.

C'est ainsi que l'UTO et le GDL pour les prestataires nationaux (24), chaque site pour ses prestataires locaux, se sont vus confier la responsabilité d'étudier et d'accepter, éventuellement avec réserves, les systèmes Qualité de leurs co-contractants. A eux également la charge de notifier leur décision aux impétrants, ainsi que les mesures particulières qui pourraient en découler.

La directive DI 53 a été révisée en 1995, dans le sens d'un enrichissement des critères de sélection. Elle précise concerner les interventions dites « à qualité surveillée » effectuées sur les sites nucléaires par des prestataires hors entités EDF. Ainsi le processus de qualification d'un prestataire porte désormais sur :

— le système qualité ; l'EPN s'appuie sur les normes ISO de la série 9000 complétées par des critères qui lui sont propres ; l'acceptation du système qualité est prononcée pour une durée de 3 ans mais peut être remise en cause à tout moment si une défaillance le justifie ; avec ou sans réserves, l'acceptation est prononcée en cas 1, cas 2 ou cas 3 selon les termes de la note UTO 85/114 révisée :

- les prestataires de niveau « cas 1 » peuvent intervenir sur les sites en utilisant leur propre organisation de la qualité ; cela signifie qu'EDF reconnaît que l'organisation de la qualité chez le prestataire est apte à maîtriser, pour une activité donnée, la préparation de l'intervention (en y intégrant l'analyse de risques en amont), l'exécution et son contrôle, la requalification intrinsèque du matériel, la vérification et le traitement des écarts ; on peut dire ainsi que la démarche Qualité-Sûreté est mise en oeuvre par le prestataire ;

²³ Selon les termes employés dans la DI 53 (version 1995).

²⁴ Est considéré comme prestataire national tout prestataire intervenant sur plus d'un site ou en direct pour le compte d'une unité nationale. Le GDL a vocation à s'intéresser aux prestataires de contrôles non destructifs.

- les prestataires de niveau « cas 2 » sont soumis pour partie à leur organisation qualité et pour partie à celle d'EDF ; en particulier ce sont les branches préparation des sites qui effectuent les analyses de risques et rédigent les PdQ ; de même ce sont les chargés de contrôle des sites qui assurent la boucle de premier niveau ; ainsi, c'est le CNPE qui est chargé cette fois de mettre en oeuvre la démarche Qualité-Sûreté ;
- les prestataires de niveau « cas 3 » sont entièrement soumis à l'organisation qualité d'EDF ; on peut pratiquement dire qu'il s'agit ici de « travail à façon » ;
- qui peut le plus peut le moins : un prestataire accepté en cas 1 peut tout à fait être retenu par un site pour effectuer une prestation en cas 2 ; dans une telle prestation, la démarche Qualité-Sûreté est du ressort d'EDF (cf. *supra*), les outillages et les pièces de rechange sont fournis par EDF ; comme me disait J. LEFEBVRE dans une discussion informelle, c'est le moyen pour un site de faire vivre son fond documentaire et de maintenir la capacité de ses agents à traiter certaines interventions ; il existe même des « stratégies d'apprentissage » où les sites commencent par utiliser des prestataires en cas 1 (généralement les constructeurs des matériels) tout en s'efforçant d'acquérir, par la voie contractuelle, une portion significative du savoir-faire sur ce matériel ; lorsque le site s'estime prêt, il peut alors recourir aux services du prestataire dans le cadre d'une prestation en cas 2 puis alterner cas 2 et cas 1 pour conserver la maîtrise technique de l'opération à la fois chez le prestataire et dans ses services ; on trouve ici un moyen de moduler la dichotomie trop réductrice d'un partage rigoureux entre « faire » et « faire faire ».

- les capacités de réalisation d'interventions en termes de compétences et de moyens (qualitatifs et quantitatifs) ;
- la solidité économique et financière ;
- l'adhésion aux objectifs de l'EPN, appréciée au travers de la pertinence des politiques conduites par le prestataire postulant (en particulier sa politique économique et sociale) et au travers de leurs résultats dans la durée (taux de renouvellement du personnel, taux de fréquence des accidents, résultats en matière de dosimétrie...) ;
- la conformité des prestations aux exigences de l'EPN.

Pour alléger les contraintes imposées aux prestataires postulants, EDF exploite dans ces domaines l'ensemble des informations existantes ; c'est ainsi que le champ d'analyse sur le domaine de l'assurance qualité est fortement réduit lorsque le prestataire possède l'une des certifications ISO.

La qualification est prononcée si le diagnostic est positif sur chacun de ces thèmes (à l'exception du dernier, qui ne peut être évalué que *a posteriori*). Elle est remise en

question et peut être retirée dès qu'une défaillance est constatée sur l'un des thèmes. Le prestataire qualifié doit donc faire l'objet d'un contrôle et d'un suivi en continu.

L'organisation retenue par l'EPN répond au souci de décentralisation et de responsabilisation des unités, dans le maintien d'une certaine cohérence. C'est ainsi que toute unité de l'EPN (site ou unité nationale) ou de la Direction de l'Équipement qui décerne une qualification le fait, sous sa responsabilité, par délégation de la direction de l'EPN, pour le compte de l'EPN. Le prestataire est donc habilité à intervenir non pas seulement auprès de l'unité qui a instruit sa qualification mais auprès de toutes les unités de l'EPN. Dans le même esprit de décentralisation, chaque unité a toute latitude pour mettre en place les organisations. Il va de soi que le caractère « universel » de la qualification prononcée par une unité a été une puissante incitation à mettre en place des critères communs d'évaluation, théoriques et concrets et à accélérer le regroupement et l'harmonisation des politiques ; cela a permis de responsabiliser les unités tout en garantissant la cohérence des décisions et d'éviter, pour un même prestataire, les investigations et audits redondants menés par différentes unités. Cette politique du Parc s'inscrit dans le cadre du renforcement des coordinations régionales comme la CIVAR dont j'avais abondamment parlé dans mon rapport 1993.

Par ailleurs un Comité de Coordination de la Qualification des Prestataires, présidé par un membre du comité de direction de l'EPN, veille aux grandes lignes pratiques du processus : définition et caractérisation des domaines d'activité concernés, fixation des échéanciers, affectation des dossiers de prestataires aux unités pour instruction de la demande de qualification, élaboration d'un avis sur chaque dossier, etc. L'UTO assure le secrétariat du CCQP et en particulier tient à jour et diffuse la liste des prestataires qualifiés, en cours de qualification et non qualifiés.

L'organisation et la procédure mises en place constituent une réponse adaptée aux exigences de la directive européenne 93/38/CEE sur les achats publics dans les domaines où cette directive s'applique. Trois systèmes de qualification ont été publiés au Journal Officiel des Communautés européennes : logistique et servitudes nucléaires (février 1995), robinetterie (août 1995), machines tournantes (mai 1996). Pour la logistique nucléaire, 12 prestataires étaient qualifiés fin 1996 sur 40 candidatures ; en robinetterie, 7 qualifiés sur 62 candidatures ; en machines tournantes, 0 qualifié sur 30 candidatures. Le domaine des automatismes et électricité ainsi que le domaine de la chaudronnerie devaient être couverts à la fin de l'année 1996 et les autres devraient être abordés en 1997 et 1998.

On voit que la qualification peut avoir une influence bénéfique à court-moyen terme par l'élimination des prestataires qui ne répondent pas exactement aux exigences de l'EPN, et à long terme par un effort d'adaptation de ces mêmes prestataires qui les ferait rejoindre le panel des heureux élus. Toutefois la période de transition pourra être longue avant que des effets concrets se fassent sentir :

- certains domaines d'activité ne sont pas encore couverts par un système de qualification ; dans ce cas l'acceptation du système qualité du prestataire demeure l'exigence de base pour toute intervention « à qualité surveillée »,

sans préjudice de certaines dispositions complémentaires précisées dans la DI 53 ;

- l'entrée dans le système de qualification se fera de façon progressive pour les domaines d'activité qui sont couverts par un tel système ; pendant une durée de trois ans à compter de la mise en place, les prestataires peuvent intervenir dans le domaine concerné sans avoir formellement posé leur candidature, sous réserve qu'ils répondent à certaines exigences de base ; toutefois seuls les prestataires qui se sont portés candidats peuvent être consultés dans le cadre d'un marché couvert par la directive européenne ; au terme de ce délai de trois ans, tous les prestataires intervenants dans le domaine d'activité concerné devront être *a minima* en cours de qualification.

La constitution d'un panel de prestataires disposant du « label » de qualité offert par la qualification aura pour conséquence normale de simplifier la tâche des CNPE ou des unités nationales cherchant à « acheter » une prestation dans le cadre de leur activité d'exploitant nucléaire.

2.2.2 La « politique d'achat » des CNPE doit s'adapter en conséquence

Le renforcement des exigences imposées par EDF à ses fournisseurs de services doit aller de pair avec une reconnaissance de la qualité potentielle des prestations par les services chargés des achats. Rien ne serait plus démotivant pour un prestataire potentiel que d'accomplir les efforts nécessaires pour décrocher sa qualification et de se voir supplanter, surtout pendant la période transitoire évoquée plus haut, par un concurrent moins regardant.

La politique d'achat de services sur l'outil de production doit donc être fondée sur la notion de « mieux disant ». Ceci implique que, avant même que ne soient complètement formalisés et rigoureusement appliqués les systèmes de qualification, les sites prennent en compte dans leurs appels d'offres les critères de qualité identiques ou similaires à ceux. J'ai en mémoire l'émoi provoqué lors de l'audition du 18 novembre 1993 quand M. RAYNAUD, représentant du groupe ONET, a brandi dans la salle Lamartine, à l'Assemblée, une note émanant de l'UTO et a indiqué que *« pour le cas des couvercles de cuve il a été lancé un appel d'offres national et, dans son cahier des charges, il a été dit clairement et écrit en toutes lettres par l'UTO que le seul critère de choix serait le prix. Je m'élève contre de telles pratiques. »*

Malgré les dénégations et regrets du représentant de l'EPN présent à l'audition, cette intervention avait produit son petit effet. Elle montrait bien que, de la politique définie au niveau central jusqu'à l'application concrète qu'en font les sites sur le terrain, il y a parfois des différences d'appréciation. Cet incident montre surtout la difficulté que ressentent les sites pour gérer, face aux réalités du terrain, les nombreux messages venus d'en haut qui sont parfois délicats à accorder ou qui peuvent même sembler contradictoires.

Que penser de la politique du mieux disant ? Comme de juste, les syndicats estiment que ce terme ne recouvre rien de concret : le critère de choix d'un prestataire

serait principalement, sinon uniquement, financier. En termes plus mesurés, la direction de l'EPN reconnaît aujourd'hui de réelles imperfections : lors de la réunion de travail du 20 novembre, P. FAURE, chef de la Mission Prestataires auprès de la direction de l'EPN, m'indiquait ainsi que *"la politique du mieux disant est perçue très diversement selon les sites. EDF n'est pas encore arrivé à la cible voulue, ce qui nécessite de mettre en place une boucle de contrôle sur les politiques mises en oeuvre par les sites."* Il faut donc faire porter les efforts dans deux directions :

- la formation des acheteurs, afin de leur faire comprendre l'intérêt des garanties de qualité que peuvent amener certains prestataires, et dont la répercussion dans le prix demandé pour la prestation doit être considérée comme légitime ;
- le renforcement des relations entre techniciens et acheteurs, sur le site, qui aide à intégrer la dimension technique au choix du prestataire ; lors de la réunion de préparation à l'évaluation de Saint Alban (22 octobre 1996), H. LANGLOIS estimait que *"le binôme technicien-acheteur fonctionne bien"* ; j'ai pu vérifier partiellement le bien-fondé de cette appréciation au cours de l'entretien avec le préparateur principal Automatismes, qui a indiqué aux inspecteurs que *"le service [Automatismes-Électricité] choisi en bonne harmonie avec l'acheteur et les chargés d'affaires ; ainsi l'aspect technique prime sur l'aspect financier"*.

Il faut enfin remarquer que la généralisation progressive des systèmes de qualification va limiter peu à peu les critères « additionnels » (c'est-à-dire autres que le prix) pour le choix d'un prestataire sur une offre déterminée. En effet le processus même de qualification sera censé garantir que les exigences de qualité de l'EPN seront toujours et partout respectées ; dans ces conditions la concurrence pourra se développer à nouveau uniquement ou principalement sur le prix.

On voit donc la nécessité de mettre en place un système de contrôle et d'évaluation des prestataires qui permette de garantir le maintien de la qualité au-delà du processus formel de qualification.

2.2.3 L'évaluation des prestataires est l'une des clefs de voûte du système

L'évaluation dont il est question ici ne constitue pas la surveillance des prestataires au sens de l'arrêté Qualité de 1984. Elle en est un complément mis au point par l'EPN pour assurer une boucle de retour d'information dans le processus de qualification et de suivi des performances des prestataires.

1. L'évaluation du prestataire commence par l'évaluation de ses prestations. A Saint Alban, le chargé de contrôle renseigne pendant les chantiers les « fiches de suivi d'intervention » suivant cinq domaines : gestion, sûreté-qualité, sécurité-incendie-radioprotection, technique, organisation-aspects humains. Il s'appuie pour cela sur une *check list* de critères de suivi ou de problèmes possibles. Ces fiches de suivi d'intervention sont utilisées dans le cadre de la réunion de retour d'expérience en fin de chantier, sous leurs deux aspects : analyse de l'intervention, analyse de la prestation fournie.

En cas de défaillance « importante »⁽²⁵⁾, l'entité EDF chargée du suivi de la qualification peut proposer au comité de direction de l'EPN de suspendre ou retirer la qualification (ou l'acceptation) du prestataire concerné. Lorsque l'action des sites vis-à-vis du prestataire doit être concertée pour éviter que la défaillance ne devienne générique sur le parc, l'entité chargée du suivi demande à l'UTO d'inscrire le prestataire défaillant au BIPAD (Bordereau d'Information sur les Prestataires et Actions diligentées). Ce bordereau permet :

- d'informer les sites sur les manquements constatés ;
- d'interroger les sites sur la liste des chantiers qui doivent être effectués par le prestataire défaillant ;
- de définir des actions correctives et palliatives, comme par exemple une enquête inopinée sur un chantier ou la mise en demeure avec sanctions associées et délais requis.

L'effacement d'un prestataire du BIPAD n'est effectif qu'après constat, par l'entité chargée du suivi de sa qualification (ou de son acceptation) de la correction des défaillances identifiées.

2. L'évaluation du prestataire repose également sur une démarche plus globale, qui s'intéresse à la qualité de l'entreprise et non plus seulement de ses prestations. Chaque unité EDF se doit de faire le point périodiquement (généralement chaque année) avec chacun de ses prestataires pour évaluer les résultats d'ensemble de la période écoulée, afin d'alimenter les démarches de progrès mises en oeuvre avec lui, revoir éventuellement les objectifs et plans d'action associés et appliquer les clauses contractuelles liées au résultat de cette évaluation (bonus malus, variation des volumes d'activité alloués...). L'évaluation repose sur deux piliers :

- la synthèse des évaluations des interventions effectuées par le prestataire ;
- l'appréciation de certains éléments hors chantier (effort de formation, tenue dans le temps des matériels, adéquation de la facturation par rapport à la commande...) ; cette appréciation ne peut se conduire que dans la durée.

Ces évaluations sont transmises sur une base annuelle à l'entité chargée du suivi du prestataire concerné, qui doit elle-même tenir avec lui des rencontres périodiques (et au moins annuelles). Le support matériel de ces évaluations est constitué d'une Fiche d'Évaluation périodique des Prestataires, en vigueur depuis le mois de juin 1995 ; son exploitation contribue à enrichir le retour d'expérience dans des domaines plus étendus que ceux couverts par l'ancienne Fiche de Synthèse Prestataires.

On voit que le système d'évaluation des prestataires est bien bordé dans ses principes et que les modalités de l'évaluation sont très complètes, tant dans leur objet que

²⁵ Une défaillance est considérée comme « importante » lorsqu'elle est de nature à mettre en péril la sûreté ou la disponibilité de l'installation ou lorsqu'elle traduit une volonté délibérée du prestataire de frauder ou d'éviter de faire face à ses obligations ou aux exigences qui lui ont été notifiées (notamment en matière de niveau de compétences, de protection et de rythme de travail de son personnel).

dans leur séquençement. On peut en revanche s'interroger sur la fiabilité d'une organisation qui repose sur une multitude d'échanges directs entre sites et unités nationales de l'EPN, les « points de départ » étant les entités-lieux d'intervention des prestataires, les « points d'arrivée » étant les entités-responsables du suivi de certains prestataires nommément désignés. De même, d'après ce que je lis dans la directive DI 53, chaque entité a l'obligation de pratiquer des évaluations globales et la capacité d'engager des « démarches de progrès » avec ses prestataires ; les différentes démarches pourront-elles être coordonnées lorsque le même prestataire est amené à travailler sur plusieurs sites ? On retrouve à travers ces quelques questions tout l'intérêt des « coordinations inter-sites » dans les bassins géographiques naturels, mais la coordination inter-site n'épuise pas le sujet...

Il conviendra que l'EPN surveille attentivement le bon fonctionnement du système et la circulation correcte des informations, y compris lorsque tous les référentiels d'évaluation auront été mis au point, publiés au JO des Communautés européennes et entrés dans les faits.

"La surveillance et l'évaluation encore plus rigoureuses de leurs prestataires permettent désormais aux sites de mieux éviter les défaillances de ceux-ci en détectant plus en amont les causes profondes pouvant générer des dysfonctionnements" indique une note communiquée lors des entretiens du 20 novembre à l'EPN. Je ne m'étendrai pas sur l'usage du temps présent affecté au verbe « permettre » : je ne suis pas certain que, malgré le sain volontarisme affiché au plus haut niveau, les principes énoncés par la direction de l'EPN aient déjà atteint leur pleine efficacité. L'expression montre en revanche que le renforcement de l'évaluation des prestataires n'a pas seulement pour objet la sanction en cas de manquement mais aussi la prévention des défaillances. C'est l'objet de ce que EDF appelle la « politique de partenariat ».

2.3 La politique de partenariat tend à instaurer des relations nouvelles entre EDF et ses prestataires

"Une large place à l'échange pour progresser ensemble" indique fièrement un transparent qui était projeté à mon intention le 20 novembre dernier. Je ne suis pas sûr que, vue du côté des prestataires, la situation soit vécue de façon aussi positive. Quelle que soit l'appréciation que l'on doit porter sur le caractère incitatif ou contraignant du partenariat, on doit reconnaître que la direction de l'EPN a pris conscience des lacunes réelles qui obéraient ses relations avec les prestataires et a engagé des actions correctrices bienvenues.

Toutes ces actions s'ordonnent autour de la volonté de garantir et maintenir dans le temps la compétence des prestataires et des hommes qui en font la substance.

2.3.1 EDF s'efforce de réduire le poids de la contrainte temporelle

1. La qualité des interventions repose en partie sur la stabilité des compétences. Ceci est vrai bien sûr pour les activités à forte technicité, où la maîtrise du savoir-faire est partiellement conditionnée par un exercice suffisamment fréquent. Ceci est vrai également pour les activités de plus faible valeur ajoutée, où ce sont alors les conditions

spéciales d'intervention en centrale qui deviennent un facteur déterminant de contrainte : le milieu particulier que constitue une centrale nucléaire (et au premier chef les zones contrôlées) peut nécessiter l'apprentissage de gestes spéciaux, la mise en oeuvre d'une certaine rapidité dans des tâches qui seraient banales autrement : on peut penser ici aux servitudes nucléaires, qui n'ont rien d'autre de spécial que le fait qu'elles sont effectuées dans un milieu « hostile ».

Cette caractéristique suppose une certaine implication du prestataire, en matière de stabilité des emplois, d'amélioration des compétences, d'investissements matériels et d'une manière générale dans la recherche et l'innovation. Cette implication ne peut être rentable — au plan financier comme au plan de l'efficacité technique — que si l'utilisation en centrale nucléaire de ces savoir-faire un peu spécifiques est assurée d'une certaine pérennité. Pour s'engager pleinement, l'entreprise prestataire a besoin d'une certaine visibilité ; pareillement, EDF a certainement intérêt à favoriser l'émergence et le maintien de ces capacités, donc à donner cette visibilité à son prestataire. On pourrait également considérer que, dans une perspective budgétaire, l'investissement du prestataire dans le « savoir-faire nucléaire » constitue un coût fixe qu'EDF doit amortir (puisque'il sera plus ou moins directement inclus dans la facturation) et qu'il est donc préférable de répartir sur plusieurs exercices.

Les sites ont engagé depuis l'année 1992 environ une politique de commandes et contrats pluriannuels (généralement 3 ans), qui procurent la visibilité recherchée.

Au plan quantitatif l'effort d'EDF a été important mais reste limité : les contrats pluriannuels sont au nombre d'environ 300, concernant une centaine de prestataires. Ils ont contribué à stabiliser près de 4,8 millions d'heures par an à la fin 1996, pour un objectif de 8 millions d'heures fixé pour la fin 1998, qui doit se comparer à un volume total de maintenance de 14 millions d'heures environ sur le parc chaque année.

Dans l'optique du partenariat, les contrats ne se limitent pas à une simple passation de commande : ils sont *"porteurs de démarche de progrès : thème par thème les objectifs à atteindre y sont précisés, ainsi que les principaux plans d'actions et les engagements réciproques. Le contenu de ces engagements devient, au fil des ans, plus pertinent, plus concret, plus opérationnel, mieux relié aux objectifs d'EDF ; en particulier à ceux qui touchent à l'amélioration des conditions de travail des intervenants ou à la stabilisation des emplois, sujets traditionnellement absents de toute approche contractuelle il y a quelques années"* (26). Ces aspects seront évoqués plus loin.

Deux ombres viennent ternir ce tableau. Tout d'abord P. FAURE estimait le 20 novembre à l'EPN que *"la difficulté consiste à faire vivre le partenariat dans la durée"* ; c'est justement l'une de ses vocations que d'inscrire dans la durée les relations d'un genre nouveau qu'EDF entend nouer avec ses prestataires. Ensuite, selon l'UTO, seuls *"certains de ces contrats pluriannuels sont accompagnés de conventions de partenariat, avec engagements mutuels sur des axes de progrès."* L'UTO rejoint ainsi certains propos tenus le 20 novembre à l'EPN : en fait la pluriannualité des contrats

²⁶ EDF-Production Transport, Exploitation du Parc nucléaire, *Maintenance du Parc nucléaire EDF. Politique vis-à-vis des prestataires*, novembre 1995.

n'implique pas nécessairement le partenariat des signataires. Cela semble confirmer l'impression selon laquelle l'objectif premier de la pluriannualité est avant tout la stabilisation des emplois. Cet objectif est légitime et essentiel. Un meilleur étalement des arrêts de tranche contribuera aussi à sa réalisation.

2. La maintenance des réacteurs électronucléaires a ceci de particulier qu'elle s'effectue principalement pendant les arrêts de tranche. Ceux-ci, d'une durée moyenne de 50 jours en 1995 (hors avaries et visites exceptionnelles), sont relativement concentrés dans l'année. En effet, compte tenu de la marge de compétitivité du nucléaire et de la part importante des coûts fixes par rapport aux coûts variables, EDF a eu longtemps pour politique de faire tourner au maximum ses réacteurs nucléaires pendant les périodes de forte consommation pour effectuer les arrêts de rechargement et maintenance pendant « l'été », entendu au sens large c'est-à-dire d'avril à septembre-octobre.

Cette « saisonnalisation des arrêts de tranche » a montré ses limites : les variations de charge de travail imposées aux prestataires se sont révélées néfastes à la stabilité des emplois — ce qui est en soi regrettable — ainsi qu'à la pérennité des compétences, aux conditions de travail de certains intervenants et à l'efficacité du suivi des travailleurs.

Par ailleurs, il semble — aux dires d'EDF — que les prestataires s'accommodent beaucoup mieux de la saisonnalité des activités lorsque les dates et délais d'intervention sont connus à l'avance. Ce souhait rejoint heureusement le désir d'EDF d'améliorer la planification de ses arrêts de tranche, ce qui laisse augurer de progrès futurs dans ce domaine. Bien évidemment les interventions de prestataires liées aux événements fortuits resteront hors de ce cadre idéal ; mais EDF a également intérêt à limiter les événements fortuits...

Pour desserrer la contrainte de la saisonnalisation, EDF a décidé de faire porter ses efforts dans trois directions :

- une meilleure répartition des activités des entreprises prestataires entre les CNPE, qui doit permettre aux entreprises de gérer au mieux les pics d'activité dus à la concentration des arrêts sur une période réduite ; les coordinations inter-sites sont un outil privilégié de ces actions de répartition des plans de charge ;
- un étalement des arrêts sur une durée plus importante (9 mois environ) à partir de 1997 ; EDF a calculé que, du fait de l'appel à des sources d'énergie fossile, plus coûteuses, cette mesure représente une charge financière d'environ 100 MF sur l'année ; L. STRICKER m'a indiqué cependant qu'EDF estime que ce surcoût sera absorbé *a posteriori* par une meilleure maîtrise des arrêts de tranche où l'influence de la « désaisonnalisation » devrait avoir une influence sensible ; ainsi des actions sont menées pour planifier un maximum de 10 à 12 tranches arrêtées simultanément pendant la période la plus chargée de l'été (plutôt que 13 à 15 actuellement) ; pour commencer 6 tranches devaient être arrêtées dès février 1997 (voir tableau de gestion du Parc en annexe à ce rapport) ;

- enfin un groupe de réflexion étudie actuellement des actions complémentaires visant : 1/ à harmoniser et lisser l'appel aux prestataires communs à plusieurs sites ; 2/ à introduire une période de neutralisation entre deux contrats, pour ceux dont les interventions ont de fortes chances de subir des aléas ⁽²⁷⁾ ; 3/ à déterminer pour un domaine donné le nombre optimum de prestataires à utiliser en fonction des évolutions de ce marché ⁽²⁸⁾ ; ces réflexions devraient être mises en oeuvre dès la campagne d'arrêts 1997 sur des exemples ponctuels (marchés de servitudes nucléaires ou de robinetterie) avec une généralisation éventuelle en 1998 ; d'ores et déjà des bassins de sites expérimentent ces dispositions (Vallée du Rhône : robinetterie et servitudes nucléaires ; Val de Loire : servitudes nucléaires).

On voit que l'effort est sensible ; il correspond également à un champ d'action qui était mis en avant dès les premières investigations que j'avais conduites sur divers domaines de la maintenance, en 1991 comme en 1993. Je me souviens avoir entendu en particulier lors de ce rapport 1993 plusieurs de mes interlocuteurs dénoncer l'excessive concentration des arrêts de tranche pendant l'été, cause principale selon eux de la précarité des emplois chez les prestataires. J'estime que la politique en cours d'élaboration et de concrétisation devrait apporter une réponse appropriée à leurs inquiétudes légitimes.

En guise de conclusion partielle, je ne peux m'empêcher de livrer au lecteur un petit morceau d'anthologie « communicante » : *"Au-delà des engagements contractuels, le partenariat conduit donc à une évolution des comportements et de l'état d'esprit de l'ensemble des acteurs, internes et externes, vers une plus grande transparence, une meilleure écoute et une meilleure confiance réciproque"*. ⁽²⁹⁾ Je préfère la formulation plus sobre et plus modeste de l'UTO : *"Les principaux concepts servant de fondements à la Politique Prestataires du Parc (partenariat, qualification, contrats pluriannuels, lissage d'activité...) ayant été initiés, il s'agit désormais d'aider les unités opérationnelles dans la mise en oeuvre de ces concepts et de mesurer leur progression."* ⁽³⁰⁾

Le caractère encore incomplet et imparfait du partenariat vécu sur le terrain implique que des stratégies d'adaptation restent nécessaires pour les prestataires.

²⁷ Une telle mesure donnerait, en cas de besoin (c'est-à-dire d'aléa), suffisamment de marge de manoeuvre temporelle au prestataire pour lui permettre de laisser ses équipes sur le site le temps de résoudre l'aléa sans être pris de court. Il éviterait ainsi la tentation de désolidariser ses équipes tout en faisant appel à un sous-traitant de second niveau ou à des travailleurs intérimaires.

²⁸ Cette dernière démarche, que l'on pourrait qualifier de « malthusienne », n'a normalement aucune interaction avec le processus de qualification des prestataires évoqué plus haut. Il s'agit là d'une réflexion purement technico-économique sur la possibilité de maintenir un volant défini de compétences pour un volume donné de maintenance dans des conditions de viabilité économique. C'est aussi un moyen d'assainir la concurrence et d'éviter que des prestataires sérieux ne soient rejoints de façon indue et désordonnée par des sociétés moins regardantes.

²⁹ EDF-Production Transport, Exploitation du Parc nucléaire, *Maintenance du Parc nucléaire EDF. Politique vis-à-vis des prestataires*, novembre 1995.

³⁰ UTO-Projet Prestataires du Parc nucléaire, *Maintenance du Parc nucléaire EDF. Politique vis-à-vis des prestataires. Avancement du Projet Prestataires à fin 1996*, (document de travail) novembre 1996.

2.3.2 Des stratégies d'adaptation restent cependant nécessaires

Pour faire face à la « précarité » des contrats de services et à la saisonnalisation encore mal maîtrisée des arrêts de tranche, les prestataires peuvent jouer sur l'emploi de leurs ressources humaines propres ou sur le recours à des sous-traitants de second niveau ou aux contrats de travail précaire, comme les CDD ou le travail intérimaire. Je ferai part ici de l'expérience de Framatome et ses filiales, telle qu'elle m'a été présentée le 13 novembre 1996 au cours d'une matinée de travail, et de celle de Manpower Nucléaire, entreprise de travail temporaire, dont j'ai visité l'agence de Péage de Roussillon à l'occasion de mon déplacement à Saint Alban, le 26 novembre 1996.

1-a. Pour Framatome SA, dont l'activité principale se concentre sur la chaudière nucléaire (cuve, couvercle de cuve, équipements internes, générateurs de vapeur, pressuriseur...), la tendance à la décroissance des effectifs moyens dans la Division des Opérations (Direction des Services nucléaires) constitue un ajustement progressif aux conditions économiques générales de la société. Cette décroissance ne permet pas d'assurer les pointes de charge. Par ailleurs la « saisonnalité gaussienne » (creux d'été) a disparu pour certaines des opérations relevant de la compétence de la division, au profit de la multiplication des opérations plus ou moins aléatoires comme le bouchage de tubes GV ; il s'ensuit que les diagrammes de charge sont très différents d'une année sur l'autre. La division est alors amenée à jouer sur l'affectation de ses agents : congés, absence pour formation, temps partiel annualisé, attente d'affectation, renforts internes ou externes à la Division des Opérations. La planche I présentée en annexe montre que l'optimum de gestion des ressources internes peut parfois ne pas être atteint : on observe en effet pour les mois de mars, avril et mai un recours important à des "renforts extérieurs" alors même que certains agents de la division restent en attente d'affectation.

D'autres réponses sont également apportées à la Division Ingénierie de Maintenance, confrontée à des difficultés similaires :

- la polyvalence des métiers de site, par exemple à travers la formation de personnels dédiés aux opérations de maintenance et à la réalisation de travaux d'amélioration et de modifications ;
- la mobilité des personnels d'ingénierie et la polyvalence siège-site : les personnels du siège peuvent être mobilisés pour des activités de site « pointues » pendant l'été, tandis que les ingénieurs et techniciens d'essais (personnels de site) peuvent être appelés en renfort à Lyon pour le traitement des dossiers pendant l'hiver ;
- la mise en place de partenariats pour les « lots 93 » d'amélioration (cf. *infra*) ;
- la mobilisation de personnels d'études extérieurs à la direction des Réalisations nucléaires, pour de très courtes durées et sur des métiers spécifiques (diagnostic...).

Comme me disaient MM. DELORME et BRECHAT, *"toutes ces solutions sont coûteuses en habilitation, en formation ou en qualification et supposent une certaine pérennité, au moins sur plusieurs années."*

1-b. C'est le même genre de politique qui est mis en oeuvre chez Jeumont Industrie, la filiale de Framatome spécialisée dans la conception, la fabrication et la vente des groupes moto-pompes primaires, des mécanismes de commande des grappes de contrôles, des pièces de rechanges associées ainsi que de tous les services nucléaires y afférents. Là aussi le décalage peut être important entre les effectifs opérationnels prévus et réalisés. Jeumont Industrie fait porter son effort d'adaptation sur deux tableaux :

— les renforts pendant les excès de charge, selon trois modalités :

- le personnel « sédentaire » des ateliers Jeumont Industrie, dès lors qu'ils ont les qualifications nécessaires pour aller aider les équipes d'intervention sur les chantiers ;
- l'utilisation de saisonniers en maintenance nucléaire provenant du personnel licencié lors du plan social de 1993, suite à l'achat de Jeumont Industrie par Framatome ; la nouvelle direction de Jeumont installée à cette occasion a proposé à certains personnels licenciés des contrats de 1000 à 1300 heures par an, répartis sur 12 mois ; la société profite ainsi de la compétence nucléaire acquise par ses anciens salariés sans supporter la charge de leur emploi sur la totalité de l'année ;
- le recours à la sous-traitance, justifié par la faiblesse ou l'absence de la société dans certains métiers (comme les contrôles non destructifs), et uniquement avec des entreprises qui ont l'habitude de travailler avec Framatome, m'a-t-il été affirmé avec force ;

— le passage de la période hivernale, grâce à une meilleure gestion de la charge de travail entre les divers ateliers Jeumont, à la concentration des actions de formation et à la préférence accordée à cette période pour les congés et repos ; à cet égard, Jeumont Industrie essaie de développer les compensations d'heures supplémentaires en journées de repos plutôt qu'en primes.

1-c. Dans le cadre des améliorations-modifications portées par le « lot 93 », la division Ingénierie de Maintenance de Framatome SA a été amenée à développer une gestion originale des variations du plan de charge en effectifs, sur laquelle je souhaite m'étendre un peu.

Les modifications formant le lot 93 portent en majorité sur le contrôle-commande et donnent lieu à plusieurs dizaines de dossiers d'intervention (20 à 60 selon les paliers). Après une phase d'étude commencée en 1990, la première réalisation a eu lieu en 1993 pour une couverture totale des réacteurs du parc prévue fin 1998 (objectif EDF). Pour la division Ingénierie de Maintenance chaque lot de modifications implique la présence du personnel pendant 11 à 17 semaines sur le site, soit environ 15 000 heures de travaux

pour Framatome et ses sous-traitants. Le contexte de l'intégration sur les sites de ce lot 93 s'est fortement dégradé en 1995-1996 :

- le contenu technique des interventions a évolué vers plus de contrôle-commande, créant une forte tension sur les métiers Essais de contrôle-commande ; par exemple lors de l'arrêt de Bugey-4, une pointe de 9 automaticiens, 7 instrumentistes, 7 ICE ⁽³¹⁾ et 2 responsables d'intervention a été relevée, soit 25 spécialistes au total pendant près d'une semaine ; cette mobilisation a concerné encore 20 spécialistes pendant plus de 4 semaines au total ;
- la saisonnalité s'est accrue sur ces interventions, amenant une augmentation du nombre de lots à traiter en parallèle (3 en 1995 contre 5 voire 6 en 1996 ⁽³²⁾) ; de plus la durée des arrêts a été fortement réduite ; alors qu'en 1994 le total des effectifs nécessaires pendant la période de pointe n'avait pas dépassé 90 personnes, cette quantité s'est élevée à 120 au cours de l'année 1995 et 150 prévues au début de l'année 1996 (voir planche 2 en annexe) ;
- les renforts et les sous-traitants n'ont pas permis en 1995 de satisfaire en totalité les besoins ; en effet certains sous-traitants traditionnels étaient indisponibles tandis que certaines sociétés de services s'étaient redéployées ou avaient disparu ; de même les affectations de personnel interne n'avaient pas permis de s'adapter aux variations de charge en flux tendu.

La division Ingénierie de Maintenance a tout d'abord oeuvré à créer un potentiel de ressources internes issues de ses différents services, réquisitionnable sur les pointes de charge. Une équipe prémobilisée de 8 ICE et 16 CCE a ainsi été formée. De plus les contrats de travail des personnes récemment embauchées dans la division précisent désormais clairement la possibilité d'être détaché sur les sites, ce qui a suscité une certaine irritation de la CGT Framatome, m'a-t-il été dit ; cependant la direction considère que le détachement sur site constitue aussi une excellente formation !

Parallèlement, la division a souhaité renforcer ses concours extérieurs en les fidélisant et en les impliquant dans la gestion globale des ressources, dans le respect de la réglementation. Les prestations concernées touchaient à la requalification des équipements affectés par le lot 93 ainsi que la requalification d'ensemble des circuits affectés par le lot 93. Les partenaires recherchés devaient être spécialisés dans la prestation de services, avoir une taille suffisante pour pouvoir absorber une charge significative avec de fortes variations, avoir une activité dans des secteurs diversifiés pour pouvoir réaffecter le personnel en dehors du nucléaire. Les partenaires potentiels devaient également disposer d'une expérience (ou pouvoir l'acquérir rapidement) dans les métiers de contrôle-commande et d'essais et être capable d'affecter sur plusieurs années des effectifs formés et entraînés.

Deux partenariats ont été mis en place, sous la forme de sociétés en participation :

³¹ Ingénieur de Conduite et d'Essais.

³² Vers la mi-juin, les équipes de Framatome devaient être présentes pour le lot 93 à la fois sur Bugey-5, Chinon-B2, Gravelines-1, Nogent-2 et Tricastin-2 ainsi que sur Cattenom-4 pour un solde de lot 93.

- avec Thermatome (groupe Schneider) pour la requalification de composants comportant du contrôle-commande (actionneurs, armoires électriques...); le volume d'activité prévu sur la période 1996-1998 s'élève à 67 000 heures par an réparties à 55% pour Framatome et à 45% pour Thermatome; l'effectif de pointe de la société en participation devrait s'élever à 65 personnes;
- avec Altran Technologies pour les requalifications d'ensemble; le volume d'activité prévu sur la période 1996-1998 s'élève à 35 000 heures par an réparties à 65% pour Framatome et à 35% pour Altran Technologies; l'effectif de pointe de la société en participation devrait s'élever à 27 personnes.

Bien entendu ces partenariats doivent respecter la politique de sûreté-qualité de Framatome : les spécifications du manuel d'assurance qualité doivent contractuellement être respectées, la certification CEFRI-E est exigée des partenaires pour le suivi dosimétrique des intervenants⁽³³⁾, les exigences de formation et de qualification des personnels sont définies dans des « fiches métiers » de nature contractuelle. Ce dernier point recouvre en particulier :

- les exigences sur le contenu de la formation : on peut mentionner dans le cas des automaticiens : 1/ une formation de base Bac+2 : DUT ou BTS Automatismes ; 2/ des formations spécifiques précisées pour chaque domaine d'intervention (automate type CONTROLBLOC...) et de durée variable ; 3/ une série d'habilitations : formation PR1/PR2 à la prévention des risques classiques et nucléaires (1 semaine), formation QSP pour la connaissance des prescriptions pour travaux sur sites EDF (1 semaine), habilitation électrique (1 semaine), introduction à l'assurance qualité ; 4/ une formation en double sur site ;
- le dossier individuel de qualification, qui est transmis à Framatome pour établir les certificats de maintien de qualification et d'habilitation-fonction ;
- l'évaluation individuelle périodique des performances du personnel.

Les planches 3 et 4 (voir en annexe) montrent l'impact du recours aux deux sociétés en participation sur la réponse apportée par Framatome aux évolutions temporelles du plan de charge tel qu'il était prévu pour 1996. La base de l'accord passé avec Framatome consiste à donner une durée d'engagement et un nombre de personnes, charge à Framatome de gérer les temps morts ; pour Altran, cela a concerné 12 ICE engagés pour une durée de 6 mois ; pour Thermatome, cela a concerné 25 CCE engagés pour 6 mois et 25 autres CCE engagés pour 3 mois. L'année 1995 a vu les trois partenaires "essuyer les plâtres" selon l'expression de M. DELORME, tandis que 1996 s'est présenté sous de meilleurs auspices malgré "une certaine anxiété des intervenants." Il y a eu en fait un certain décalage entre les prévisions et la réalité de l'année 1996, avec une charge globale plus élevée.

³³ M. DELORME me signalait au demeurant que, l'essentiel du travail s'effectuant sur des armoires électriques relativement éloignées des sources de rayonnement, les doses reçues sont en général très faibles. Par ailleurs les intervenants étaient suivis par le biais des moyens dosimétriques de Framatome.

On voit que, même pour 1997 (voir planche 5 en annexe), cette méthode ne permet pas cependant d'absorber toutes les fluctuations du plan de charge : il subsiste un ou plusieurs petits pics d'activité, pour lesquels Framatome est obligé de se reposer sur ce que la société appelle pudiquement les *"mesures de fluidité"*. Parmi celles qui sont envisageables, on trouve bien entendu les contrats à durée déterminée mais aussi l'appel aux entreprises de travail temporaire, qui a une certaine spécificité.

2. Les sociétés de travail temporaire sont multiples et nombreuses. On y trouve de petites entreprises ou les ténors que sont Manpower ou Ecco. Manpower est entré tardivement sur le marché de l'intérim dans les INB, et en particulier dans les centrales EDF. B. AUGER, directeur Grands Comptes, m'indiquait le 26 novembre dernier que des *"pratiques douteuses comme les CDD ou les travaux en régie"* avaient longtemps rebuté l'entreprise. D'ailleurs EDF m'indiquait aussi que *"le Parc n'entend pas favoriser l'appel à l'intérim qui doit rester exceptionnel mais est parfois inéluctable"* ⁽³⁴⁾. C'est la constitution du CEFRI qui aurait provoqué la décision de proposer ses services auprès des prestataires.

Depuis le 1^{er} juillet 1995, EDF a imposé à ses sous-traitants de faire appel à des entreprises de travail temporaire certifiées CEFRI-I pour tout recours à du personnel intérimaire susceptible d'intervenir en zone contrôlée. Manpower a obtenu sa certification CEFRI-I le 6 septembre 1994.

Un réseau de 22 agences Manpower situées à proximité des sites nucléaires a alors été constitué. Un « interlocuteur spécialisé », employé permanent de Manpower, est affecté dans ces agences ; il a pour mission d'établir des relations suivies avec les clients potentiels et effectifs. Une fois le contact commercial établi, ces relations visent à identifier le contexte précis des demandes formulées par le client : qualification recherchée, caractéristiques du poste, connaissances particulières requises, nature de la tâche à effectuer, environnement du poste de travail et conditions générales de la mission. L'interlocuteur spécialisé a également vocation à effectuer la sélection des collaborateurs qui seront détachés chez le prestataire.

L'interlocuteur spécialisé suit le programme normal de formation de tout nouveau responsable Manpower, c'est-à-dire 4 semaines de formation générale répartie sur les 6 premiers mois, avec une alternance de stages intensifs, de séjour en agence et de visites dans les entreprises. S'y ajoutent les formations spécifiquement nucléaires : HN3, PR2 et QSP, indispensables pour donner de la crédibilité vis-à-vis des entreprises clientes et pour pouvoir jouer un rôle constructif vis-à-vis des collaborateurs intérimaires, dont bon nombre devront obtenir des qualifications similaires ou identiques pour pouvoir entrer en zone contrôlée. Le suivi des formations nucléaires est d'ailleurs une exigence du CEFRI pour obtenir la certification I.

Enfin Manpower a recruté à la fin de l'année 1994 un salarié de Framatome afin de réussir « l'accompagnement » de sa démarche et des initiatives d'EDF. Grâce à cette personne, les agences *"se sont aguerries et ont pu s'introduire auprès de grands prestataires (Cegelec, Thermatome...)"*.

³⁴ Note de travail déjà citée.

Manpower dispose aujourd'hui dans ses fichiers de 700 personnels DATR (sur un total de 330 000 personnes employées en 1995 et une moyenne de 70 000 personnes sous contrat à tout instant pendant cette même année 1995).

La maîtrise et la garantie des compétences sont une grande partie de l'activité de l'entreprise de travail temporaire. La certification CEFRI-I sanctionne l'effort fourni en matière de sécurité et radioprotection ; EDF a également « demandé », à compter du 1^{er} juillet 1995, à toute entreprise de travail temporaire d'adhérer à la Charte M proposée par l'UTO, qui les engage sur le professionnalisme des intervenants, dans le respect des exigences posées par le Parc. *"Manpower est complètement partie prenante à cette démarche"* m'a affirmé B. AUGER. L'entreprise doit vérifier les compétences de ses collaborateurs, assurer leur traçabilité, avoir les moyens d'effectuer un REX sur les compétences, etc. Un document doit tracer tout ce qui s'est passé dans la vie professionnelle de l'intéressé, ce qui peut être particulièrement lourd pour un intérimaire ! Manpower fait également des plans de qualité pour ses clients, bâtis selon les critères du CEFRI et de la Charte M, pour répondre à leurs exigences propres de formation.

Le noyau dur de la formation des intérimaires est la qualité et la prévention des risques, qui mobilisent une durée d'environ 15 jours. Pour valider ces connaissances, Manpower a décidé d'utiliser des tests interactifs et « multimédias » sur microordinateurs ; une série de questions à choix multiples, tirées au hasard par le logiciel dans une vaste bibliothèque, est proposée au candidat ; la correction est immédiate, le candidat obtenant immédiatement la bonne réponse de la machine s'il a lui-même fait une erreur. La cible actuelle du logiciel concerne les électriciens et les mécaniciens ; une extension est en cours de définition.

Manpower effectue également des formations « métiers » pour ses collaborateurs qui désirent étendre leur champ de compétences ou acquérir une première formation professionnelle. Le risque est bien sûr que le fruit de la formation échappe à l'entreprise qui l'a financée : le collaborateur intérimaire n'est lié par un contrat de travail que pendant la durée d'une mission, il n'a aucune obligation légale de rester chez Manpower après avoir reçu sa formation ⁽³⁵⁾. Une partie de la réponse se trouve dans la politique de fidélisation des collaborateurs : ceux-ci resteront chez Manpower si la société est capable de leur trouver des missions les plus fréquentes, les plus longues et les plus intéressantes possibles. Une autre partie de la réponse réside également dans le comportement du client : si celui-ci a l'habitude de présenter ses demandes plusieurs mois avant l'intervention, Manpower a la possibilité de se préparer et le collaborateur a une perspective ferme (bien que temporaire...) à l'horizon.

Au demeurant il est arrivé que des clients « volent » des collaborateurs à Manpower. A. NUNEZ m'a indiqué qu'EDF est alors averti de ces pratiques, sans pour autant que Manpower puisse faire autre chose que dénoncer « moralement » ce détournement de compétences. Mais, m'ont indiqué mes interlocuteurs, si le transfert se

³⁵ C'est aussi le lot des contrats à durée indéterminée et de toutes les autres formes de contrats, mais il est clair que le risque est le plus fort pour les formes temporaires du contrat de travail. On peut cependant considérer que l'incertitude financière pour l'employeur est peu de chose au regard de l'incertitude du travailleur sur la pérennité de son emploi...

fait avec un CDI à la clef, "c'est somme toute assez valorisant pour Manpower !" ; si en revanche le collaborateur est embauché sous un CDD, "il se fait avoir car il n'y a rien après la fin du CDD alors que la personne resterait collaborateur de Manpower après la fin de sa mission." Cette dernière remarque fait toujours référence à la fidélisation des personnels au sein des sociétés d'intérim même en l'absence de tout lien juridique.

Pour la formation « métiers » Manpower met souvent en oeuvre le dispositif des CMJI (Contrat Mission Jeune Intérimaire). Par exemple, du 19 février 1996 au 11 avril 1996, un CMJI « agent de servitudes nucléaires » a concerné 12 intérimaires, dont la qualification initiale était agent de production, tireur de câble, manoeuvre, contrôleur qualité ou manutentionnaire ; les formations initiales s'étagaient entre la 5^{ème}, la 4^{ème}, la 1^{ère} F3, la Terminale D, un BEP de jardinier, un BEP de vente.

Le contenu de la formation a été déterminé en fonction d'une particularité du métier d'agent de servitudes nucléaires. En principe, les entreprises font appel à un personnel local (car on ne déplace pas les intervenants comme on peut le faire pour des tuyauteurs ou des soudeurs par exemple). Il s'agissait donc de donner les formations nécessaires aux intérimaires pour les détacher à la centrale de Gravelines pendant les arrêts de tranche et de leur permettre également de réutiliser leurs nouvelles compétences dans des entreprises hors nucléaire le reste de l'année. L'objectif était d'assurer, autant que possible, le plein emploi.

Dans ce cadre, un programme de formation a été mis en place avec le SIFOP de Dunkerque, autour des grandes lignes suivantes : habilitations nucléaires (QSP, PR1, HN1), édification des échafaudages (technologie, montage), servitudes (nettoyage des locaux, décontamination, déchets, confinement statique et dynamique), sauveteur et secouriste du travail, conduite de chariot élévateur (permis cariste), conduite de pont roulant, pose et dépose d'éléments de tôlerie et de calorifugeage. La formation a duré au total 291 heures, ce qui est tout à fait significatif. Elle a été validée par : 1/ les habilitations nucléaires ; 2/ le permis cariste / pontier ; 3/ la reconnaissance de la qualification d' « agent de propreté » par la convention collective des entreprises de propreté.

Sur les 12 intérimaires formés, 11 ont eu des missions en servitude nucléaire (un n'a pas obtenu ses habilitations malgré deux tentatives). Tous ont démarré leur première mission, dans leur nouvelle qualification, entre le 15 et le 23 avril 1996. Sur la période d'avril à juin 1996 la durée de leurs missions a été de 6 à 16 semaines. Les clients étaient : 1/ Ultra-Sons Nettoyage, entreprise spécialisée dans le nettoyage industriel et les servitudes nucléaires, dont le site de Grande Synthe emploie une centaine de salariés tandis que d'autres implantations sont présentes près de Marcoule et de Penly ; 2/ Evers Isolation est aussi spécialisée dans les servitudes nucléaires et plus particulièrement le calorifugeage et l'échafaudage ; 3/ SCTN, société du groupe Delattre-Levivier spécialisée en servitudes nucléaires ; 4/ Tarlin, entreprise locale de chaudronnerie, Tuyauterie et maintenance nucléaire.

L'effort de formation « nucléaire » de Manpower m'a paru important : au titre du plan de formation, des stages PR, HN et QSP ont été organisés pour plus de

1000 intérimaires entre le 1^{er} juillet 1995 et le 30 juin 1996. Rappelons que l'effectif moyen compté sous le drapeau Manpower est de 70 000 personnes.

Selon les dires de mes interlocuteurs — mais pouvait-il en être autrement ? — l'approche de la société a été bien comprise par ses clients potentiels ou effectifs et par EDF. Tous ont apprécié la démarche de l'interlocuteur spécialisé ; il est vrai qu'il s'agit d'une exigence du CEFRI pour obtenir la certification imposée par EDF. *"L'interlocuteur spécialisé a la même formation que les intervenants ; il sait donc ce qu'il faut faire comme efforts pour parvenir au niveau de qualité exigé par le nucléaire [...] Les agences Manpower ont vu le changement d'attitude des entreprises utilisatrices en 2-3 ans. Les interlocuteurs spécialisés sont désormais bien reconnus comme pleinement compétents."*

Les entreprises clients ont également apprécié la constitution du réseau d'agences locales, ainsi que le suivi centralisé des collaborateurs : le prestataire peut demander une personne donnée sur un chantier donné à une époque donnée. Enfin une réunion nationale des agences une fois par semestre donne lieu à la discussion des difficultés rencontrées et à des questions-réponses ; EDF et les principaux prestataires sont invités à ces réunions.

Ces stratégies d'adaptation donnent au prestataire une certaine flexibilité pour répondre, au mieux de ses intérêts, à la charge de travail que leur aura confiée EDF. Cela ne dispense pas pour autant de la si nécessaire rigueur qui doit présider à la mise en oeuvre de cet ensemble complexe d'opérations qu'est un arrêt de tranche. Un arrêt doit être bien maîtrisé : c'est le troisième volet de la politique mise en oeuvre par EDF dans la démarche Sûreté-Maintenance.

3. L'AMELIORATION DE LA QUALITE DES ARRETS DE TRANCHE

La notion de qualité appliquée à l'arrêt de tranche ne se laisse pas facilement cerner. Elle recouvre des domaines aussi variés que la capacité de l'exploitant à « penser avant » et à anticiper, la maîtrise des interfaces entre les divers acteurs de l'arrêt, le professionnalisme de ces mêmes acteurs ou la capacité à tirer des leçons utiles de l'expérience. Dans tous les cas les principes d'organisation de l'exploitant sont toujours un peu malmenés par l'occurrence d'événements fortuits.

3.1 L'anticipation et l'ouverture des arrêts de tranche sont à l'ordre du jour

3.1.1 Les capacités d'anticipation des sites ont bien avancé

La performance en matière d'anticipation peut s'entendre de deux façons : dans le domaine technique, on fera bien sûr référence à la capacité de prévoir d'éventuelles défaillances⁽³⁶⁾ mais aussi à celle d'intégrer le retour d'expérience résultant du comportement effectif du matériel et des interventions effectuées sur lui, ainsi que la réflexion sur la conception de solutions locales aux besoins de maintenance exprimés par le site. On reconnaît là les missions de l'ingénierie, qui effectivement doit être pour les sites une « tête chercheuse » en plus que d'être un outil opérationnel.

³⁶ Il s'agit là d'un champ d'investigation privilégié pour des études probabilistes de fiabilité.

C'est dans le domaine de l'organisation de l'arrêt que la notion d'anticipation prend un relief particulier. En termes de structures, il convient d'évoquer la SPAT (Structure permanente d'Arrêt de Tranche), en termes de fonction l'intérêt doit se porter sur la planification des interventions effectuées pendant l'arrêt.

1. La création et la généralisation d'une SPAT sur chaque site formaient l'une des mesures préconisées par le rapport NOC, sur la base de l'expérience acquise par certains sites pionniers.

A Saint Alban, la structure permanente d'arrêt, placée sous la responsabilité du chef d'arrêt, rassemble également un représentant de la structure d'arrêt du service conduite ainsi qu'une cellule planification comprenant un contremaître et des techniciens. La SPAT a pour mission :

- de regrouper toutes les activités de maintenance ou de modification à programmer ;
- d'établir, à partir du « squelette local de base », le planning d'arrêt en y intégrant les contraintes particulières au site ;
- de faire désigner, par les chefs de service, les responsables d'activités, les chargés d'affaires et les chargés de contrôle ;
- de constituer les dossiers d'activités préventives ou de modifications et de s'assurer de leur traçabilité ; la note d'organisation de Saint Alban fait remarquer que la constitution des dossiers d'activité issus des événements fortuits relève des services opérationnels directement concernés ; il sont cependant transmis à la cellule de planification pour intégration dans le planning ;
- de faire rédiger le dossier d'arrêt qui doit être présenté à la DRIRE et d'en assurer le suivi ;
- de mettre en oeuvre les modalités pratiques de la démarche ALARA et d'engager la mise en place de la démarche Qualité-Sûreté spécifique à l'arrêt ;
- de regrouper et de gérer l'ensemble des plans de prévention ⁽³⁷⁾ établis pour les interventions d'arrêt ;
- de faire établir le budget d'arrêt.

La préparation de l'arrêt s'inscrit dans un échéancier destiné à encadrer les initiatives des différents acteurs. A Saint Alban les actions de préparation sont ainsi prévues commencer 8 mois avant l'arrêt, par l'établissement de la liste des modifications nationales d'une part, la détermination du programme de maintenance d'autre part, la réalisation du retour d'expérience des arrêts précédents enfin. La constitution des

³⁷ Institués par la loi de 1990, les plans de prévention visent à recenser les moyens de prévenir les atteintes professionnelles à la santé des travailleurs des entreprises prestataires engagées par un donneur d'ordres. Ils sont établis en liaison entre le donneur d'ordres et le prestataire.

dossiers et la mise en oeuvre de la démarche Qualité-Sûreté (analyses de risques) commencent à J₀-6 mois ; de même les activités sont progressivement entrées dans le planning. A partir de J₀-5 mois les prestataires sont choisis, les commandes rédigées et négociées, le dossier administratif d'arrêt est rédigé. Le programme des travaux est gelé à J₀-4 mois et le dossier administratif envoyé à la DRIRE ; les structures propres à l'arrêt de tranche peuvent commencer à être mises en place (détermination des chargés d'affaires et de contrôles, diffusion des dossiers...). A J₀-3 mois le planning de pré-arrêt (qui participe directement des opérations d'arrêt) est lancé, ainsi que la mise en oeuvre de la démarche ALARA. Les réunions d'enclenchement débutent à J₀-2 mois ainsi que le provisionnement et la préparation des chantiers. Un forum des entreprises intervenantes est organisé à J₀-1 mois. Le planning d'arrêt est définitivement figé à J₀-15 jours.

La mise au point de ce planning d'arrêt est au coeur des fonctions exercées par la SPAT. Une bonne planification est indispensable pour deux raisons :

- le déroulement correct des interventions pendant l'arrêt et subordonné à un ordonnancement efficace, qui garantisse un accès aisé aux locaux et la disponibilité des matériels comme des ressources humaines ;
- le respect des exigences de sûreté, et au premier chef des Spécifications techniques d'Exploitation, nécessite de placer les diverses interventions dans un ordre rigoureux, de façon que, selon l'état du réacteur, les matériels requis pour assurer la sûreté de l'installation soient effectivement disponibles en temps et heure.

Durant l'arrêt, le planning est utilisé pour le lancement successif des activités de l'arrêt, toutes spécialités confondues. Il assure ainsi leur compatibilité d'ensemble et permet aux acteurs d'organiser leur travail, de se préparer à leurs activités d'exécution et de se coordonner. Lors de ma visite à Bugey en 1993, mes interlocuteurs avaient fort justement défini la planification comme *"l'épine dorsale"* de l'arrêt. Le planning comporte couramment jusqu'à 3 000 opérations élémentaires ; les meilleures centrales dans le monde peuvent planifier jusqu'à 5 000 activités, m'a dit EDF ; j'ai ouï dire que certains contestent cette appréciation et estiment qu'un trop grand découpage des opérations peut nuire.

Le planning est remis à jour quotidiennement (deux fois par jour à Saint Alban) de façon à avoir une vue d'ensemble des opérations qui se déroulent durant l'arrêt, à tenir compte des évolutions des interventions et de l'état de la tranche en temps réel. EDF accorde une importance croissante à la planification des activités d'arrêt et a renforcé de façon significative les moyens (en particulier informatiques) mis à la disposition des équipes de planification. Pour l'IPSN, un planning bien tenu peut être considéré comme une ligne de défense supplémentaire très efficace vis-à-vis du respect des exigences de sûreté.

Il est à noter qu'à Saint Alban le programme de visite des matériels réalisé en arrêt est établi avant l'élaboration des budgets. Cela garantit dans une certaine mesure que les nécessités techniques ne seront pas indûment bridées par une prévision financière défailillante mais souveraine car antérieure.

Par ailleurs le rapprochement des arrêts sur les deux tranches de Saint Alban a conduit le service Automatismes-Électricité (branche préparation Automatismes) à essayer autant que faire se peut de jumeler et harmoniser les programmes d'arrêts sur les deux réacteurs. Cette initiative réfute ainsi (au moins pour ce que je peux en interpréter) un des problèmes mentionnés par D. CANGINI, pilote de la Démarche Sûreté-Maintenance, lors de la réunion EPN du 20 novembre : les sites auraient une vision trop « mono-arrêt ». Ceci se traduirait par exemple dans le fait que les échéanciers de préparation et les calendriers de montée en charge des intervenants sont souvent construits isolément pour chaque arrêt ; d'autre part on observe souvent que la mise en commun des travaux de préparation n'est pas toujours bien exploitée (de nombreuses tâches de préparation et de planification sont répétées plusieurs fois sur le même site pour une même campagne).

Les principales voies d'amélioration identifiées sur ce thème sont : 1/ l'identification et la modélisation des activités récurrentes des arrêts de tranche ; 2/ la mise en commun de tout ou partie des tâches de préparation pour ces activités ; 3/ la formalisation d'un échéancier « campagne » visant à planifier et optimiser l'utilisation des ressources et des moyens disponibles, notamment pendant les phases amont de préparation ; 4/ la mise en commun de ressources rares ou critiques avec les autres sites de même palier, de même taille, d'une même région. *"La mise en oeuvre de ces voies d'amélioration relève nécessairement d'une action continue, à moyen et long terme, et constitue précisément l'une des missions clefs de la structure permanente d'arrêt."*

Dans le même ordre d'idée, l'« ouverture » des arrêts de tranche est un nouveau chantier de progrès pour les sites.

3.1.2 L'ouverture des arrêts de tranche reste à parfaire

"Il faut développer une vision et une action multisites ainsi que la mutualisation des ressources" me disait le 20 novembre D. CANGINI. Un groupe de travail d'EDF remarquait dans une étude achevée en janvier 1995 qu'il existe peu d'échanges et de partage d'expérience entre sites en dépit de quelques exemples, développés au cas par cas sur des domaines précis, qui se sont révélés positifs et fructueux. Pourtant chaque site possède en son sein des expériences et des bonnes pratiques de nature à intéresser et à faire progresser d'autres sites ; de plus les sites partagent souvent les mêmes préoccupations et les mêmes difficultés, compte tenu de leurs similitudes ; enfin, de l'avis général, il est impossible de concentrer l'ensemble des sites et unités nationales dans un schéma purement « vertical » (sites → MCP → sites).

La solution idéale qui consiste à dire que les unités doivent et peuvent développer les échanges inter-sites s'est longtemps heurtée à deux écueils :

- *"une concertation des sites en l'absence d'une unité nationale a souvent été perçue comme une « fronde » ou une tentative de contournement", cette appréciation étant à l'évidence portée par lesdites entités nationales ;*
- *"à l'inverse, la participation d'une entité nationale à ce type d'échanges a pu être perçue comme une ingérence".*

Il semble que les choses se soient un peu améliorées depuis la rédaction finale de ce rapport. J'ai noté par exemple à Saint Alban que depuis 2 ans le service Automatismes-Électricité (branche exécution Automatismes) du site échange régulièrement 2 agents avec Belleville pendant et hors des arrêts de tranche ; il en est de même avec Golfech, pour 1 agent. Évidemment il m'est difficile de dire s'il s'agit d'une pratique désormais généralisée ou d'un cas heureux mais toujours isolé.

L'ouverture extérieure doit aller de pair avec ce que l'on pourrait appeler l'ouverture intérieure, c'est-à-dire la maîtrise par les acteurs concernés de toutes les interfaces avec les autres pôles de décision et d'action de l'arrêt.

3.2 La maîtrise des interfaces progresse peu à peu

A côté de la redéfinition du contrôle (création des chargés de contrôle, réorientation des MSQ...) et l'amélioration des capacités d'anticipation, c'est peut-être dans les dispositions visant à mieux gérer les interfaces que la marque de la démarche Sécurité Maintenance se fait le plus sentir. Des fonctions aussi typées que celles de chef d'arrêt, chargé d'affaires, liaison avec la conduite ou relations avec les prestataires en sont les principales porteuses.

3.2.1 Le chef d'arrêt assume la responsabilité de l'arrêt de tranche

L'introduction de la fonction de chef d'arrêt se veut une réponse à la parcellisation des tâches et à la dilution des responsabilités dénoncées par le rapport NOC. L'objectif consiste à concentrer sur un seul acteur la mission générale du bon déroulement de l'arrêt. Ainsi, à Saint Alban, le chef d'arrêt est responsable : du respect des objectifs fixés par la Direction ; de l'organisation générale de l'arrêt ; de la coordination entre les différents services ; du lancement des activités dans le cadre des plannings ; du suivi des chantiers et du contrôle de la qualité des interventions ; de la résolution des problèmes techniques courants n'ayant pas d'incidence notable sur les délais, le matériel, la sûreté ou les budgets, en relation, si besoin est, avec les services et sections concernés ; de la diffusion des informations en temps réel ; du suivi gestionnaire de l'arrêt ; de la rédaction du rapport d'arrêt ; du REX sur l'organisation (plans d'actions des durées d'arrêts...).

En conséquence le chef d'arrêt doit : rendre compte au comité de pilotage de l'arrêt ; établir un échéancier de préparation et le suivre ; collecter en temps réel les éléments « ressources » pour l'élaboration d'un planning qui sera validé par l'ensemble des services à J₀-15 jours en Commission de Sécurité d'Arrêt de Tranche (COMSAT) (ce planning devant tenir compte fidèlement des décisions techniques et budgétaires des services) ; piloter les réunions quotidiennes de la structure décisionnelle et de la Réunion d'Arrêt de Tranche (RAT) ; déclencher les réunions fortuites avec les chargés d'affaires, les responsables d'activités et prestataires concernés ; déclencher et animer les réunions de la COMSAT ; déclencher la réunion du groupe « Comité de pilotage de l'Arrêt » sur les aléas importants ; réaliser l'information interne sur la messagerie informatique (compte rendu de la RAT, événements importants...) ; participer au Comité de pilotage des Arrêts.

Au vu de ce chapelet de responsabilités et d'obligations le chef d'arrêt m'apparaît plus comme un « supermajordome » ou un animateur que comme un véritable « chef ». Cette dernière notion fait appel à mon sens à une autonomie plus large que celle dont jouit effectivement le chef d'arrêt. Or il semble que celui-ci soit en fait très contraint dans ses marges de manoeuvre :

- il ne maîtrise pas les objectifs de performance de l'arrêt, fixés par la direction du site ;
- il n'a pas en propre de pouvoir de décision : la structure décisionnelle a compétence pour les décisions relatives au déroulement de l'arrêt, la COMSAT pour les décisions relative aux changements d'état de la chaudière, le planning doit être validé par les services, etc ;
- la seule compétence « libre » qu'il a, à savoir l'établissement de l'échéancier d'arrêt de tranche, est en fait fortement encadrée dans la note générale d'organisation des arrêts qui trace un calendrier type très détaillé ; l'échéancier a lui-même vocation à être le plus strictement respecté une fois adopté...

Par ailleurs il n'apparaît pas clairement que le chef d'arrêt ait une responsabilité directe sur les ressources humaines employées pendant les opérations d'arrêt. Au contraire, à côté de la structure d'arrêt chargée de piloter l'ensemble des opérations effectuées, subsistent les services qui conservent la maîtrise des effectifs. A Saint Alban, un Comité de pilotage de l'arrêt a par exemple vocation à trancher les difficultés qui peuvent survenir en matière de mise à disposition des ressources humaines par les chefs de service.

En fait l'institution du chef d'arrêt n'a pas eu pour conséquence la création d'une véritable autorité de l'arrêt de tranche. Ce n'était d'ailleurs peut-être pas son objectif. Il m'apparaît plutôt que le chef d'arrêt est la « conscience » de l'arrêt : il doit bien sûr veiller à sa performance brute (durée, sûreté, coût) qui est l'objectif ultime ; il doit surtout, d'après ce que j'ai ressenti à Saint Alban, contribuer à créer parmi les agents EDF et les agents des prestataires (si possible) un « esprit d'arrêt » qui transcende les frontières de métiers et de statuts.

Le chef d'arrêt est le point de focalisation des énergies dépensées pendant l'arrêt. Il incarne (au sens propre) cette phase si étrange et si courante à la fois qu'est l'arrêt de tranche dans le cycle de vie de la centrale. Il contribue par sa présence et son action à matérialiser la fonction Maintenance et en ce sens il concourt à l'appropriation de cette fonction Maintenance par tous les intervenants.

Mais bien entendu la fonction du chef d'arrêt n'est pas que symbolique ou emblématique. Au sommet de la pyramide de l'arrêt, il est au contact de tous les métiers et de toutes les spécialités, il est au coeur de tous les événements ; il en tire cette capacité essentielle de connaître à chaque instant l'état des lieux et le moral des troupes, et d'en déduire les actions à tenir : il gère globalement les interfaces entre les différentes fonctions de l'arrêt. Au niveau des « activités » ou « affaires », son action est relayée par les chargés d'affaires.

3.2.2 Le chargé d'affaires gère les interfaces dans les activités dont il a la charge

Le chargé d'affaires est devenu, peut-être à son corps défendant, une figure de proue de la réforme de la maintenance. Il représente dans toute sa pureté la lutte engagée contre la prolifération des interfaces. Nous verrons cependant plus loin que cette vocation n'échappe pas au paradoxe.

Comme je l'ai indiqué plus haut (voir 1.3.1) le chargé d'affaires est la personne chargée d'appliquer la démarche Qualité Sécurité au niveau d'une activité et non plus simplement d'une intervention. Son rôle essentiel consiste à identifier les risques résultant de la combinaison des interventions à effectuer sur un matériel ou sur une fonction de la tranche. Il doit ensuite mettre au point, en collaboration avec les équipes chargées des différentes interventions, les parades associées.

En bref, le chargé d'affaires a pour mission de maîtriser les risques techniques issus de la complexité de l'organisation. Il doit donc avoir une bonne capacité de recul par rapport à sa propre spécialité professionnelle afin de prendre toute la mesure des risques d'interfaces. La liste des « affaires » identifiées pour les arrêts de tranche 1996 à Saint Alban pourra peut-être illustrer cette exigence :

Le chargé d'affaires doit suivre l'intervention depuis la phase de préparation jusqu'à la requalification. Dans les premiers temps de la démarche Sécurité Maintenance la requalification considérée était la requalification intrinsèque ; depuis elle a été étendue à la requalification fonctionnelle. A Saint Alban la responsabilité du chargé d'affaires s'étend jusqu'à la phase de retour d'expérience. Le chargé d'affaires travaille en liaison étroite avec les préparateurs et les chargés de contrôle responsables des diverses interventions composant son « affaire ». Dans ce cadre il doit entre autres ⁽³⁸⁾ :

- recenser par spécialité et de façon exhaustive les interventions qui seront réalisées dans le cadre de son affaire, et identifier les activités de conduite associées (mouvements d'eau, consignations, lignages, essais périodiques, requalifications, etc.) ;
- contrôler que les exigences de qualité et techniques sont correctement définies dans les cahiers des charges adressés aux intervenants ;
- établir l'enclenchement des interventions, en liaison avec l'équipe de planification ;
- mettre en oeuvre la démarche Qualité Sécurité : effectuer l'analyse de risques globales de l'activité, réunir les rédacteurs des analyses de risques d'interventions, faire éventuellement modifier les PdQ, établir le document de surveillance (équivalent pour l'activité de ce qu'est le PdQ pour l'intervention), finaliser les enclenchements ;
- piloter la réunion d'enclenchement pour chaque intervention ;

³⁸ L'énumération suivante, donnée à titre d'illustration, est tirée de la note d'organisation de Saint Alban *Rôle et missions du chargé d'affaire* (mars 1994).

- suivre la réalisation de l'ensemble des interventions couvertes par son affaire : initier les réunions de levée des préalables ; rendre compte quotidiennement au chef d'arrêt ; transmettre à l'équipe planification l'état d'avancement de interventions pour la mise à jour du planning ; prendre en compte les interventions fortuites ; identifier et suivre le traitement des écarts ; surveiller/contrôler ou faire contrôler les travaux (par l'intermédiaire des chargés de contrôle) ; réaliser des visites de chantier fréquentes pour avoir une vision effective du déroulement de l'affaire (en particulier aux interfaces) ; arrêter le chantier en cas de manquement grave ; gérer les expertises avec la préparation ; renseigner le document de surveillance ; gérer la réalisation des requalifications intrinsèques et participer aux requalifications fonctionnelles ; s'assurer que les comptes rendus d'intervention et de requalification ont été analysés avant que le matériel concerné ne soit requis pour l'état de tranche considéré ; participer à la RAT (réunion d'arrêt de tranche) et aux COMSAT ;
- participer si besoin est aux réunions de fin de chantier pilotées par les chargés de contrôle ;
- organiser et piloter la réunion de retour d'expérience ; à Saint Alban, le chargé d'affaires doit décider des actions à entreprendre éventuellement au titre du retour d'expérience (sauf si l'action retenue est transverse à plusieurs services, auquel cas la responsabilité revient au chef d'arrêt).

On voit que l'ampleur du travail assigné au chargé d'affaires est considérable et que son « métier » est extrêmement complexe — mais je reviendrai plus loin sur ce dernier point. L'efficacité concrète de l'action d'un chargé d'affaires dépend bien sûr de multiples facteurs, mais surtout du nombre d'affaires dont il a la charge. La Division des Installations nucléaires de la DRIRE Rhône Alpes a pu s'étonner ainsi que, lors des arrêts de tranche de 1993 à Tricastin, les inspecteurs de la DRIRE aient rencontré un chargé d'affaires qui devait superviser, dans le cadre de toutes les interventions sous-jacentes, près de 180 chantiers !

J'ai vu à Saint Alban des chargés d'affaires dont la présence était plus ou moins marquée. J'ai été très impressionné par le chargé d'affaires RIS/EAS qui m'a paru fonctionner de façon tout à fait performante, avec en particulier une forte implication dans tout le déroulement des interventions jusqu'à la requalification fonctionnelle comprise (comme le requiert d'ailleurs la note d'organisation du site) ; de même il semblait avoir développé pour son usage personnel des outils d'organisation intéressants, dont l'efficacité était confortée par la bonne capacité de communication de l'individu et les relations étroites qu'il entretenait avec les préparateurs et les chargés de contrôle relevant de son affaire.

Au contraire j'ai pu voir également un chargé d'affaires dont les circuits d'information étaient plus déficients : il n'était pas réellement le coordonnateur de son affaire et en suivait le déroulement plus qu'il ne le contrôlait ; de plus toutes les demandes de régime ne passaient pas par lui, l'obligeant ainsi à aller à la pêche aux informations ; enfin le chargé d'affaires en question ne voyait pas l'intérêt de créer un

document de surveillance pour son activité ⁽³⁹⁾. En revanche je dois signaler que, malgré son positionnement défectueux dans le circuit d'information, le chargé d'affaire concerné réussissait dans les faits à assurer, peut-être dans des conditions parfois acrobatiques, un suivi efficace de son affaire.

EDF a rencontré plusieurs difficultés dans la mise en place des chargés d'affaires. La première d'entre elles concerne la définition de ce qu'est une « affaire ». Aussi curieux que cela puisse paraître de l'extérieur, il existe des conceptions très différentes entre les sites sur ce que doit être un chargé d'affaires.

On peut tout d'abord rencontrer des chargés d'affaires « fonctions » ou des chargés d'affaires « matériels » :

- les premiers pilotent l'ensemble des paramètres d'une fonction du système (par exemple circuit primaire, circuits de sauvegarde, refroidissement, alimentations électriques, source froide, secondaire...); certaines de ces fonctions sont intimement liées à quelques matériels déterminés : les « sources électriques » sont les diesels et les sources externes, auxquels on peut également rattacher tout le système de transformation de l'électricité extérieure brute en électricité utilisable par les systèmes de la tranche (tableaux électriques); cependant, c'est bien sous leur aspect fonctionnel que doivent être regroupés ces différents matériels, autour d'un impératif de sûreté qui est la disponibilité à tout instant des sources électriques requises par les états de tranche successifs dans le cours de l'arrêt ;
- les seconds sont plutôt, comme leur nom l'indique, responsables des interventions sur un matériel donné (pompe...), en prise plus directe avec l'exécution ; leur rôle consiste principalement à assurer une bonne coordination des intervenants.

Il apparaît en fait que la distinction n'est pas toujours très nette entre ces deux catégories. Saint Alban a par exemple défini pour les arrêts 1996 une « affaire robinetterie » aux contours très particuliers. La mission du chargé d'affaires s'applique pour toutes les interventions effectuées sur la robinetterie primaire et secondaire à l'exception des travaux sur les batardeaux des stations de pompage, des travaux sur les organes d'admission du groupe turbo-alternateur et des travaux liés à la manoeuvrabilité de deux clapets bien identifiés. Les choses se compliquent un peu lorsqu'on sait que les autres affaires nécessitent par nature des interventions sur la robinetterie ; pour en tenir compte Saint Alban a décidé que :

- pour les robinets IPS intégrés dans une autre affaire, le chargé d'affaires « robinetterie » répond de l'avancement des travaux et du planning auprès du chargé d'affaires concerné sur le fond ; ainsi le chargé d'affaires « robinetterie » fait ici office de simple coordinateur (dénomination qui était d'ailleurs utilisée par tous les acteurs de l'arrêt) ; cela implique que la

³⁹ Il faut cependant rappeler que le document de surveillance n'est pas obligatoire mais reste justement subordonné à l'appréciation du chargé d'affaires, au vu des résultats de l'analyse de risques.

vérification de la qualité intrinsèque de l'opération est du ressort du chargé d'affaires « robinetterie » alors que l'assurance de la sûreté reste du ressort du chargé d'affaires saisi au fond ;

- pour les robinets IPS n'appartenant à une affaire, le chargé d'affaires « robinetterie » doit s'assurer de la mise en oeuvre de la démarche Qualité-Sûreté ; il assume ainsi le rôle d'un véritable chargé d'affaires « matériel ».

Malgré cette relative complexité, le service Travaux a fait part de sa satisfaction quant au positionnement du chargé d'affaires (ou coordinateur) « robinetterie » et a manifesté l'intention de poursuivre dans cette voie. Ce constat n'a pas été remis en cause par l'Inspection nucléaire, qui a au contraire reconnu la performance de l'individu.

Près de 6 ans après la mise en place de la réforme Noc, EDF se pose toujours des questions sur le rôle et la mission exacte des chargés d'affaires. Non pas que le dispositif soit inefficace : la DRIRE Rhône Alpes s'est dit convaincue que *"le système est une bonne chose"* et que d'ailleurs *"EDF a fait beaucoup de progrès depuis la mise en place des premiers chargés d'affaires"*. Mes interlocuteurs de la CFDT m'indiquaient qu'il y a eu de nombreux groupes de réflexion sur les chargés d'affaires, mais que les résultats n'ont pas été à la hauteur des espérances. En attendant une clarification, chaque site continue donc de mettre en oeuvre sa propre philosophie, sa propre vision des choses, sans pour autant que cette diversité ne semble vraiment nuire sur le terrain. *"La majorité des sites sont d'une grande prudence en matière de chargés d'affaires"* estimait C. AUFORT, expert ès démarche Sûreté-Maintenance à l'IPSN, *"les sites volontaristes sentent bien le caractère délicat du positionnement du chargé d'affaires. Rien d'étonnant à ce que, sur certains sites, le chargé d'affaires soit un ingénieur de niveau GF 13, sur d'autres un simple « acteur PQS » chargé de faire l'analyse de risques et la coordination des activités."*

Les différences d'approche relevées ici au plan géographique se sont parfois aussi trouvées — mais bien sûr à un moindre degré — dans le processus de mise en place des chargés d'affaires pour un site donné. A Bugey par exemple, le rôle et le positionnement des chargés d'affaires s'est précisé peu à peu entre 1991 et 1993 :

- pour la visite décennale de la tranche 5 (1991), la démarche Qualité-Sûreté encore embryonnaire avait conduit à élaborer 20 PdQ, sur les systèmes de sauvegarde (EAS, ASG, RCP, RIS, ETY, etc.) ;
- pour la visite partielle de la tranche 2 (1991), 33 PdQ ont été élaborés et la démarche Qualité-Sûreté s'était étendue à quelques affaires transversales (avec les analyses de risques associées) ; par ailleurs le site a mis en place un groupe de pilotage de la démarche, le Groupe permanent PQS, avec pour objectif de construire la démarche sur le site et d'enrichir les réflexions et actions menées au niveau national ;
- pour la visite décennale de la tranche 3 (1991), 40 actions PQS ont été menées, marquées par l'apparition de ce qui deviendra plus tard les documents de surveillance ; les pilotes d'affaires deviennent Chargés d'Affaire PQS ;

- pour la visite partielle de la tranche 4 (1991), ce sont à nouveau 40 actions PQS qui voient le jour, accompagnées de 6 documents de surveillance ; par une extension de la démarche Qualité-Sûreté hors du domaine des systèmes de sauvegarde, les automaticiens s'engagent dans les PQS sur les circuits RPN (chambres de mesures neutroniques) et les capteurs RCP (circuit primaire) ; avec le recul de quelques mois, il apparaît alors que les chargés d'affaires ont le sentiment de ne pas être reconnus et d'avoir une tâche purement administrative : le groupe des chargés d'affaires est « rapporté » dans la structure d'arrêt, les réunions hebdomadaires sont organisées et pilotées par la MSQ, les chargés d'affaires ne sont pas dans la ligne décisionnelle ; en conséquence et après avoir analysé ce problème, le Groupe permanent PQS préconise auprès de la direction du site un « saupoudrage » des chargés d'affaires dans les lignes opérationnelles de la structure d'arrêt ;
- pour la visite partielle de la tranche 2 (1992), des difficultés apparaissent sur la clarté des missions affectées aux chargés d'affaires et leur intégration dans les autres structures du site ; 40 actions PQS sont mises en oeuvre, appuyées par 5 documents de surveillance ;
- pour la visite partielle de la tranche 5 (1992), la démarche monte encore en puissance, avec l'élaboration de plus de 100 PdQ et 10 documents de surveillance ; cependant des difficultés apparaissent sur le traitement des demandes fortuites ;
- pour la visite partielle de la tranche 4 (1993), le site effectue 13 "Bulles PQS" avec leur document de surveillance ; par ailleurs la refonte préconisée en 1991 par le Groupe permanent PQS entre en vigueur : les chargés d'affaires deviennent moteurs dans l'analyse de risques et la constitution du dossier PQS, leur compétence s'élargit (pilotes gestionnaires, pilotes des PQS, pilotes des plans de prévention au sens du Code du Travail), ils sont totalement intégrés dans la ligne décisionnelle, ils assurent le retour d'expérience au sein d'une réunion hebdomadaire pilotée par le chef d'arrêt ; pour autant la mission, le « métier » du chargé d'affaires restent encore suffisamment flous pour que le Groupe permanent PQS juge bon de continuer à y réfléchir.

Le champ du débat n'est pas clos aujourd'hui, et le chargé d'affaires, *"personnage clé dans la démarche Sûreté-Maintenance"* pour la DRIRE Rhône Alpes, reste presque un objet de mystère si j'en crois mes interlocuteurs. Heureusement qu'on en rencontre, bien vivants et bien actifs, gérant les interfaces au sein de leurs affaires !

Un autre lieu d'interfaces se trouve dans le lien indispensable entre conduite et maintenance, qui été considérablement rénové ces dernières années.

3.2.3 L'interface avec la conduite s'est améliorée

L'une des spécificités du nucléaire par rapport au charbon est qu'un arrêt de tranche se « conduit ». Dans une centrale à combustible classique, les gens de la conduite arrêtent leur installation pour faire réaliser le programme périodique de maintenance et

« donnent les clefs » aux gens de la maintenance pour les reprendre en fin d'arrêt. Dans une centrale nucléaire un réacteur arrêté nécessite autant d'attention (tout au moins tant que le combustible est toujours présent dans la cuve) qu'en fonctionnement ⁽⁴⁰⁾. La conduite doit veiller à ce que le réacteur reste dans un état sûr et que les fonctions de sûreté (au premier rang desquelles la maîtrise de la réactivité et le refroidissement du combustible) soient toujours effectives.

La complexité des opérations de maintenance, la nécessité de disposer à chaque instant d'un certain nombre de matériels pour respecter les exigences de sûreté obligent à établir une liaison étroite entre organisation de conduite et organisation de maintenance. EDF a pris conscience tardivement de cette nécessité : dans les années 80 l'arrêt de tranche était vu comme une simple activité de maintenance ; dans les années 90 il est vu comme un processus complexe devant associer les deux fonctions. Cette association repose sur des structures et des outils, dont le bon fonctionnement suppose peut-être une évolution de certaines mentalités.

Autant d'après B. DUPRAZ *"les gens de conduite apprécient cette ouverture qui les fait sortir de leur tour d'ivoire"*, autant ce sentiment positif peut avoir des difficultés à entrer dans les faits. Les relations entre conduite et maintenance sont encore souvent contraintes par la noblesse attachée à l'activité de conduite, située au plus près du process et des impératifs de sûreté. Les structures des centrales ont semble-t-il quelque mal à se dégager de certains schémas de pensée où les autres services seraient en quelque sorte « à la disposition » de la conduite.

1. L'un des points forts du rapport NOC consiste dans la mise en place au service conduite d'une structure hors-quart qui doit assurer l'interface entre celui-ci et les autres acteurs de l'arrêt.

A Saint Alban la structure hors-quart (qui s'appelle *"équipe de conduite détachée"*) est constituée de 6 personnes :

— un responsable d'activité conduite, chef d'exploitation détaché spécifiquement pour l'arrêt ; il est le chef d'exploitation de la tranche et, à ce titre, seul responsable des retraits d'exploitation prononcés pour les matériels sollicités par la maintenance ; il a également un rôle d'expert sûreté ; ses fonctions et responsabilités sont multiples et les présenter toutes ici excéderait largement le cadre de mon rapport ; je noterai simplement quelques points qui me paraissent assez illustratifs :

- phase de préparation : participation à l'élaboration du planning d'arrêt en y intégrant les contraintes d'exploitation (STE, charge de travail des équipes de conduite...) ; pilotage des requalifications fonctionnelles des matériels ; validation du planning ; participation aux analyses de risques, etc.

⁴⁰ Au demeurant le déchargement complet du combustible réduit les risques d'accident grave mais n'entraîne pas pour autant l'abandon de toute vigilance : si la « conduite » au sens propre est moins sollicitée, la vigilance se déplace vers les piscines d'entreposage.

- phase de suivi de l'arrêt : participation ou pilotage des diverses réunions journalières ; participation au planning journalier ; point sur les actions réalisées pendant la nuit et lancement des actions correctrices ;
 - phase de retour d'expérience : animation du rex conduite, participation au rex des arrêts ;
- un cadre technique qui s'attache à la gestion de divers dossiers, à la validation de certains choix, au contrôle de la mise à jour de la documentation dès l'implantation des modifications, à l'organisation des lignages pendant la phase de redémarrage, etc.
 - deux contremaîtres principaux hors classe, chargés de constituer les dossiers d'activité conduite, de diverses tâches relevant des consignations, etc.
 - un responsable requalifications ;
 - un responsable effluents.

On voit bien que, conformément aux orientations dégagées par le rapport NOC, l'équipe détachée a une double vocation : 1/ dégager les équipes de quart de toute implication dans les activités relevant de l'arrêt pour leur permettre de se consacrer entièrement à leurs propres missions⁽⁴¹⁾ ; 2/ concentrer sur quelques personnes les responsabilités de conduite relevant spécifiquement de l'arrêt et de la coordination avec les opérations de maintenance. Il me semble justement que le terme de « équipe détachée » employé par Saint Alban retrace mieux cette double vocation que le terme originel de « structure hors-quart ».

2. Par ailleurs plusieurs représentants du service conduite sont affectés dans les structures constituées pour le pilotage de l'arrêt de tranche :

- la SPAT (structure permanente d'arrêt de tranche) accueille un membre de la structure hors-quart, qui participe ainsi à toute la phase de préparation ;
- la « structure décisionnelle » de l'arrêt rassemble, autour du chef d'arrêt, un ingénieur du service Travaux et un ingénieur du service Automatismes-Électricité, mais aussi le chef d'exploitation spécialement détaché et un ingénieur sûreté.

Les responsables détachés de la conduite sont ainsi en prise directe avec le déroulement de l'arrêt et peuvent assurer la circulation de l'information avec les équipes de quart.

3. Les sites ont généralisé un outil fort efficace pour améliorer la gestion de l'interface conduite-maintenance lors de certaines étapes des interventions où cette

⁴¹ Lesquelles peuvent cependant être directement conditionnées par les opérations d'arrêt : la consignation d'un matériel (retrait d'exploitation) avant intervention de maintenance, puis le retrait de consignation du même matériel (remise en service) sont des opérations assurées par les équipes de quart de la conduite mais dont l'existence même découle des actions de maintenance.

interface est particulièrement sensible. Il s'agit essentiellement de la requalification des matériels après intervention. On se souvient qu'il existe deux catégories de requalifications, déroulées successivement :

- la requalification intrinsèque, directement liée à l'intervention effectuée : vérification du sens de rotation d'un moteur, de la bonne isolation ou au contraire du rétablissement d'un contact électrique, vérification de l'absence de corps étranger dans un robinet et manoeuvrabilité du robinet, etc. ; elle est réalisée sous l'égide de l'équipe d'intervention ;
- la requalification fonctionnelle, qui a vocation à vérifier que le matériel remis en service est bien apte à remplir sa fonction : vérification de l'ouverture et de la fermeture d'une vanne, vérification de débits de tensions ou de courants représentatifs des conditions de fonctionnement, vérification des critères d'efforts à l'ouverture et à la fermeture de soupapes, de vannes ou de robinets, etc. ; elle est réalisée sous l'égide de l'équipe de quart de la conduite.

Le processus de requalification nécessite des allers-retours entre la maintenance et la conduite : 1/ pendant la préparation une FSR (Fiche de Suivi de Requalification) est émise par le préparateur, qui définit la ou les requalifications intrinsèques nécessaires ; 2/ la FSR est transmise au chef d'exploitation détaché qui définit la requalification fonctionnelle ; 3/ la FSR revient au préparateur pour être intégrée au dossier d'intervention ; 4/ le dossier contenant la FSR est transmis à la planification pour intégration dans le planning ⁽⁴²⁾ ; 5/ en fin d'intervention le chargé de travaux renseigne la FSR sur les résultats de la requalification intrinsèque et la remet au chargé d'affaires ; 6/ celui-ci complète éventuellement les parties concernant les requalifications effectuées par les services prestataires ⁽⁴³⁾, puis transmet la FSR à la cellule conduite de la structure d'arrêt ; 7/ celle-ci analyse les requalifications intrinsèques en vue de préparer et de lancer au bon moment la requalification fonctionnelle, puis renseigne la FSR sur le résultat une fois la requalification fonctionnelle effectuée par l'équipe de quart ; 8/ la FSR se dédouble : un feuillet cartonné retourne au préparateur pour être intégré au dossier d'intervention archivé, un feuillet autocopiant est archivé au service conduite.

J. LEFEBVRE, de l'Inspection nucléaire, me disait dans une discussion informelle que l'on voit la plupart du temps les gens de maintenance renseigner les documents de conduite mais on voit beaucoup plus rarement les gens de conduite renseigner les documents de maintenance.

J'ai constaté effectivement à Saint Alban que le circuit des Fiches de Suivi de Requalification a parfois quelques « ratés » lorsque les fiches parviennent à la conduite. Il arrive qu'elles ne retournent jamais au service de maintenance qui les a émises, empêchant ainsi celui-ci de prendre connaissance de façon formelle et traçable de la réalisation, du succès ou des difficultés rencontrées lors de la requalification

⁴² Celui-ci doit inclure l'intervention elle-même et les requalifications intrinsèque et fonctionnelle.

⁴³ Par exemple sur un servo-moteur, qui relève principalement de la spécialité mécanique, les électriciens peuvent être amenés à intervenir dans le cadre d'une « prestation » interne au site. Cette prestation peut nécessiter en elle-même une requalification intrinsèque qui est alors mentionnée dans la FSR de l'intervention principale.

fonctionnelle. Les services sont alors obligés au bout de 2 mois, si les relances ne suffisent pas à mobiliser leurs collègues, de passer les dossiers d'intervention à l'état terminal, au prix d'une légère entorse à la règle formelle et aux dispositions de l'assurance qualité.

Reconnaissons cependant que tout n'est pas parfait non plus du côté de la maintenance : il est apparu lors de certains entretiens qu'il y a parfois un manque de traçabilité des interventions prestataires sur les FSR ; ceci peut amener la conduite à réaliser les requalifications fonctionnelles sans avoir la garantie que toutes les requalifications intrinsèques ont été effectuées.

Le système de la FSR est mis en oeuvre de façon systématique à Saint Alban. Utilisé avec rigueur il permet un bon verrouillage des interactions nécessaires entre conduite et maintenance sur la question des requalifications.

4. Quelques développements spéciaux doivent enfin être consacrés à la Commission de Sécurité d'Arrêt de Tranche (COMSAT). La COMSAT a pour mission de veiller au respect des exigences de sûreté lors de certains changements d'état de la chaudière. Elle doit pour cela exercer un contrôle gestionnaire pour s'assurer de la disponibilité des matériels requis ; à ce titre elle doit obtenir de chaque responsable un engagement sur la bonne réalisation des tâches relevant de sa spécialité ou de son « affaire ».

Saint Alban a choisi de réunir quatre fois la COMSAT : 1/ avant le rechargement du combustible ; 2/ avant de passer dans l'état chaudière dit API (Arrêt pour Intervention) ; 3/ avant de dépasser 90°C de température primaire ; 4/ avant la divergence. Un certain nombre de points sont obligatoirement examinés : respect des Règles générales d'Exploitation, bilan des DMP mis en place, traitement des écarts, etc. ; d'autres dépendent du changement d'état concerné. Un certain nombre de « points bloquants » sont définis pour chaque COMSAT, qui doivent obligatoirement être levés avant que le chef de quart ne puisse procéder effectivement au changement d'état.

La COMSAT est ainsi la dernière ligne de défense organisationnelle contre une erreur de maintenance qui n'aurait pas été détectée auparavant. Sa qualité et son utilité sont conditionnées par plusieurs paramètres :

- l'efficacité des chargés d'affaires, dont on a vu qu'elle peut être variable ; je fais référence ici non pas à l'efficacité de leur suivi des interventions placées dans le cadre de l'affaire, mais à la traçabilité et à la confiance que le chargé d'affaires peut avoir dans les informations sur lesquelles il va fonder son engagement vis-à-vis de la COMSAT ;
- l'efficacité des actions entreprises par les personnes responsables de la préparation de la COMSAT ; à cet égard l'entretien conduit par l'Inspection nucléaire avec le chef d'exploitation et l'ingénieur sûreté de la structure d'arrêt est assez éclairant :
 - un document préparatoire est constitué pour être envoyé aux chargés d'affaires et leur permettre de se situer par rapport aux exigences de

sûreté qui seront examinées lors de la COMSAT ; une extraction systématique dans SYGMA, banque de données traçant toutes les interventions effectuées pendant l'arrêt, permet de « déblayer » le terrain ; elle est complétée par une extraction des matériels requis par les STE ; cependant cette dernière extraction n'est que partielle ;

- les listes fournies par le chef d'exploitation ne sont pas exhaustives, donc les chargés d'affaires doivent d'une part se replonger dans les STE pour déterminer de façon précise quels sont tous les matériels requis relevant de leur affaire, d'autre part compléter à partir de leurs propres informations la liste d'interventions fournie par le chef d'exploitation car SYGMA ne recense pas tout ;
- le chef d'exploitation suit les demandes d'interventions fortuites, et en particulier contrôle si elles sont soldées ; cependant, par manque de rigueur dans les services, toutes les demandes d'intervention ne sont pas soldées après réalisation ; le chef d'exploitation doit donc faire un « pistage » supplémentaire pour éviter les demandes « oubliées » ;
- mais il arrive fréquemment que dans les services de maintenance certaines personnes (et cela est apparu clairement lors d'autres entretiens) sont persuadées que le chef d'exploitation parviendra à piéger tous les oublis ; c'est une incitation au manque de rigueur !
- face à l'expérience malheureuse de la première COMSAT de l'arrêt, où 53 points bloquants avaient été relevés, il a donc été jugé utile de faire précéder chaque COMSAT d'une pré-COMSAT ; le chef d'exploitation détaché et l'ingénieur sûreté font le tour des chargés d'affaires et discutent avec eux de l'état d'avancement de leurs affaires.

On voit que par suite d'un certain manque de rigueur observé dans les étages antérieurs des interventions et de leur gestion, les personnes chargées de préparer les COMSAT ont un gros travail. Encore heureux, disait N. KRIEGER, chef du service Électricité de Bugey et participant à la mission d'évaluation, que Saint Alban soit une centrale jeune où le fortuit est encore limité ! Bugey, affirmait-il, fait 50% d'interventions en plus de celles prévues au PBMP.

C'est bien l'occurrence d'événements fortuits qui, perturbant le déroulement serein de ce qui est prévu, remet en question les schémas d'organisation et de fonctionnement et sollicite les acteurs.

3.3 La gestion du « fortuit » sollicite toujours fortement les acteurs

3.3.1 Le fortuit réduit les marges d'autonomie

Je n'ai pas pu suivre de près le traitement d'un événement fortuit lors de ma présence à Saint Alban. A côté des fortuits « classiques » (comme sur les robinets par exemple), on peut relever des fortuits importants. Lors de l'arrêt de Saint Alban-2 les

jointes d'une pompe primaire ont été grillées lors d'opérations de redémarrage⁽⁴⁴⁾ ; cet événement a entraîné un retard de plusieurs jours dans le déroulement de l'arrêt. De même, dans les derniers jours de présence de l'Inspection nucléaire sur le site, un fortuit de robinetterie portant sur une centaine de robinets est survenu.

On voit ici la complexité du traitement du fortuit au regard des contraintes temporelles :

- certaines activités (dont généralement celle qui relève le plus directement du traitement de l'événement fortuit) se trouvent placées subitement sur le « chemin critique », c'est-à-dire le groupe d'opérations qui détermine à chaque instant la durée de l'arrêt ; la pression est alors maximale sur les agents puisque le moindre retard se traduit par l'allongement de la durée finale de l'arrêt ; on peut craindre alors deux effets : 1/ une détérioration de la qualité des gestes techniques sous l'effet de la pression psychologique, qui peut conduire justement à des défauts de qualité nécessitant des reprises de travaux donc créant un retard ; 2/ la volonté de traiter rapidement tout écart ou défaut apparu lors de l'intervention, qui conduit à s'écarter des règles rigoureuses de l'assurance qualité et peut déboucher sur des risques plus importants mais mal perçus voire pas décelés ;
- d'autres activités au contraire se trouvent *ipso facto* allégées de la contrainte temporelle : celles qui étaient précédemment situées sur le chemin critique ; elles peuvent désormais subir un délai sans pour autant que la durée totale de l'arrêt en soit modifiée.

Le fortuit entraîne à la fois un accroissement global des contraintes temporelles mais aussi une modification de leur répartition. Il est profondément perturbateur du contexte de réalisation des interventions de maintenance car de nombreuses cellules fonctionnelles de l'arrêt (planification, préparation, chargés de contrôle, conduite, etc.) sont sollicités pour y remédier, en plus de la charge de travail planifiée à l'origine.

A cet égard je ne peux manquer de mentionner les propos très intéressants qui m'ont été tenus par les représentants de la CFTC en février dernier. Évoquant les interactions entre sûreté, disponibilité, planification, prévision et aléas, M. MARTELLO affirmait : *"dans les centrales il y a beaucoup de réactivité face aux aléas."* M. ROUSSON renchérisait en estimant que *"plus les coups sont durs mieux ça va. C'est un peu la culture EDF : il faut répondre à un défi. Curieusement ce qui est programmé marche souvent moins bien"*. Il complétait ensuite en disant *"On dit souvent que l'on devrait avoir une culture plus anticipatrice, mais la direction est bien contente de voir tout le monde sur le pont quand il le faut !"* M. MARTELLO reprenait ensuite : *"Pendant un arrêt de tranche tout va bien car les gens sont sous pression, après l'arrêt c'est beaucoup plus « diffus »."* M. ROUSSON expliquait alors : *"les circuits de décision sont très lourds ; l'imprévu passe mieux"*. Seul R. NEUMANN apportait un bémol à ce panégyrique du management par le stress, en rappelant que *"le fortuit peut passer mais il n'en faut quand même pas trop ! Il reste nécessaire de faire des dossiers pour bien maîtriser la sûreté."*

⁴⁴ Il paraît que ceci arrive quand même 3 à 4 fois par an sur le parc.

Faire les dossiers, c'est justement le volet de la démarche Qualité-Sûreté qui risque d'être le plus malmené lors du traitement des fortuits.

3.3.2 La démarche Qualité-Sûreté est confrontée à la pression du temps réel

La démarche Qualité-Sûreté repose sur un principe : la réflexion avant l'action. Suivant le genre de fortuit auquel on est confronté, l'impératif d'action peut parfois subjuguier en partie l'impératif de réflexion. C'est ainsi que l'analyse de risques est une étape du processus de qualité très sensible au fortuit. *"Les analyses de risques doivent se faire à tête reposée"* me disait J.M. SIMON, chef de la Division des installations nucléaires de la DRIRE Rhône Alpes ; le contexte du fortuit ne s'y prête parfois pas, soit que l'événement soit sur le chemin critique, soit qu'il soit très près du process et nécessite une intervention rapide.

C'est justement le cas des Automatismes. Le chef de la branche Exécution du service Automatismes, aux premières loges en cas de fortuit, indiquait ainsi que la pratique des analyses de risques est perfectible en astreinte :

- si elle juge l'intervention « sans risque » la cellule d'astreinte-décision fait appel au technicien compétent qui remplit une fiche d'astreinte ;
- si elle juge que l'intervention comporte des risques, la cellule d'astreinte fait appel au préparateur qui fait une analyse de risques.

Ce dispositif a été estimé insuffisant par Saint Alban, qui a récemment créé 6 postes de maîtrise d'intervention chargés de valider l'analyse de risques faite par le technicien d'astreinte.

Les risques doivent cependant être piégés de façon efficace. J'ai déjà évoqué incidemment cette question dans certains passages antérieurs. Passée l'étape de l'analyse de risques, dont on a vu qu'elle pouvait être délicate, l'intégration du fortuit au planning est une nouvelle ligne de défense. Rappelons qu'à Saint Alban le planning est figé 15 jours avant le début de l'arrêt après validation par le chef d'exploitation et l'ingénieur sûreté détachés. La gestion du planning se fait en relatif, par rapport à des jalons importants, ce qui permet de mieux gérer les glissements éventuels provoqués par des fortuits importants.

Par ailleurs l'intégration formelle des interventions requises par le fortuit n'est pas obligatoire : elle se fait à la demande du chargé d'affaires concerné, si le chemin critique est remis en cause ou s'il s'agit d'une intervention importante comportant beaucoup d'interfaces.

Pour le reste, la maîtrise du fortuit passe par l'efficacité des circuits d'information qui relient les différents acteurs : information des chargés d'affaires qui doivent intégrer l'intervention nouvelle dans leur réseau d'interfaces à gérer, information du chef d'exploitation et de l'ingénieur sûreté détachés qui doivent s'assurer du respect à tout instant des exigences de sûreté, etc. On voit la nécessité de disposer d'outils d'information fiables (réunions, informatique...), qui peuvent être suppléés — mais pas compensés — par des réseaux plus informels.

On voit bien que l'organisation reste fragile même si elle est généralement efficace. L'occurrence d'événements fortuits est un défi permanent à cette efficacité. Cela met bien en relief la nécessité de se reposer encore pour une part sur le professionnalisme des agents, qui constitue depuis toujours, dans le discours officiel d'EDF, la « première ligne de défense » au service de la sûreté.

3.4 La qualité de l'arrêt s'appuie sur le professionnalisme des acteurs

3.4.1 *L'acquisition des compétences de maintenance a fait l'objet d'actions soutenues*

Historiquement, la formation spécifiquement nucléaire à EDF a surtout été concentrée sur les actions liées à la conduite : implantation de simulateurs et stages des agents de conduite sur simulateurs, formation des Ingénieurs Sûreté-Radioprotection. Les premières actions en faveur d'un développement de la formation dans le domaine de la maintenance surviennent au seuil des années 90, avant même les incidents de 1989 et le rapport NOC. On trouve par exemple trace de stages consacrés à la maintenance des soupapes SEBIM.

Comme l'indique le *Bilan 1990 de la Sûreté nucléaire en exploitation*, "l'année 1990 doit être considérée comme une année charnière dans le domaine de la formation". Des évolutions ont lieu bien sûr en matière de formation liée à la conduite, mais surtout la sortie du rapport NOC entraîne la mise en oeuvre d'une réflexion générale sur la formation pour la maintenance, en liaison avec l'apparition des nouveaux métiers que sont les chargés d'affaires, les chargés de contrôle, etc. Par ailleurs les premières réflexions sont conduites sur la formation nécessaire aux prestataires extérieurs qui interviennent sur les matériels IPS. Une analyse des métiers de maintenance est lancée, qui débouche en particulier en 1991 sur la création d'un Institut de Formation à la Maintenance.

Le but de cet institut est d'associer à la formation au geste technique une vision d'ensemble faisant une large part à la culture de sûreté, à la qualité, à la sécurité et aux méthodes de travail et d'analyse. Son enseignement doit s'appuyer largement sur le retour d'expérience et des chantiers écoles permettant des mises en situations réelles. Il doit également assurer la cohérence de toutes les formations dispensées dans les installations, celles relatives aux métiers, celles relatives aux matériels et celles relatives aux méthodes. Décidé en 1991, l'IFM est mis en place en 1992 et repose alors sur :

- des installations, avec des pôles principaux qui sont les centres de formation du Service de la Formation Professionnelle (SFP) d'EDF (La Pérolrière, Gurcy-le-Châtel) ou le CETIC ; les pôles secondaires sont les bases de formation situées sur les CNPE et les installations particulières chez EDF et chez les constructeurs ;
- des formateurs, dont la majorité sont issus des centrales nucléaires et possèdent une expérience concrète de la maintenance ;

- une organisation fédératrice autour d'un directoire et d'un conseil de surveillance, qui rassemblent le SFP et l'EPN.

En 1992 quelques actions menées à leur terme ont concrétisé la naissance réelle de l'IFM : 1/ la définition de la politique d'EDF concernant le développement des chantiers écoles pour l'entraînement aux opérations de maintenance ; 2/ la mise au point d'un chantier école à La Pérolière sur l'amélioration et l'automatisation d'une boucle thermohydraulique ; 3/ la création au CETIC d'un chantier école utilisant le circuit de refroidissement de la piscine Bâtiment combustible (stage QSP pour les prestataires) ; 4/ l'organisation de deux rencontres entre les MCP du Parc et les experts du SFP pour transmettre les messages liés à la Qualité-Sûreté à tous les formateurs ; 5/ l'intégration des messages Qualité-Sûreté dans les 34 stages suivis par l'IFM et dont la liste avait été communiquée à l'autorité de sûreté.

1993 a été la première année de fonctionnement en régime « normal » pour l'IFM. Trois groupes de mission ont été constitués, sur les métiers techniques, sur les ingénieries et l'encadrement, et sur les prestataires. Un certain nombre d'actions phares ont été poursuivies avec pour certaines d'entre elles des aménagements ou des remaniements importants issus du retour d'expérience :

- la formation des GF 12-GF 13 Maintenance ⁽⁴⁵⁾, destinée au grèvement des ingénieries de sites ; cette formation durait 6 mois pour les agents promus GF 13 avant le stage, 2 à 3 ans pour les GF 12 susceptibles de passer GF 13 après examen par le jury national ; l'objectif de cette formation est de permettre au cadre *"d'appréhender le sens de son action et d'évoluer d'une maîtrise parcellaire à une approche plus globale du métier d'ingénieur de maintenance dans l'ensemble du système d'exploitation"* ; il s'agit aussi *"de faciliter une adaptation à des missions d'ingénierie/expertise et de management"* ⁽⁴⁶⁾ ;
- les stages PQSM (Préparation Qualité-Sûreté Méthodes), qui visent à l'amélioration du professionnalisme des agents dans les métiers de préparation dans le droit fil du rapport NOC ; pendant 3 semaines ce stage associe formation théorique et formation sur site, grâce à la réalisation de travaux inter-sessions (projet de stage) ; il associe également la hiérarchie des agents au travers de la désignation d'un tuteur qui a pour tâche d'amener le préparateur en formation au niveau minimal requis pour accéder au stage ; le tuteur a également un rôle d'aide pendant la réalisation du projet ; jusqu'en 1992 les préparateurs se formaient par compagnonnage ; bien que la formation PQSM ne se substitue pas à ce mode d'apprentissage essentiel, elle renforce la compétence des agents formés dans le domaine Qualité-Sûreté et dans le domaine du savoir-faire méthodologique ;
- les stages QSP (Qualité-Sûreté Prestataires) visent à donner aux intervenants extérieurs des notions de fonctionnement des installations et à leur diffuser une

⁴⁵ Il s'agit de niveaux dans la grille statutaire d'EDF, qui correspondent à des emplois d'ingénieurs.

⁴⁶ Voir le *Bilan 1992 de la Sûreté nucléaire en exploitation*, EDF-EPN, juin 1993.

culture de sûreté (perception des risques, comportements attendus, organisation de la qualité, etc.) ; compte tenu de l'ampleur potentielle des effectifs concernés⁴⁷, le contenu de la formation QSP est délivré par plusieurs dizaines d'entreprises de formation (auditées puis agréées) et plusieurs centaines de formateurs (certifiés) ; la stratégie pédagogique repose sur l'utilisation d'un chantier école (plus d'une trentaine au total) recréant le plus près possible les conditions du terrain ; elle est conçue pour toutes les qualifications et s'appuie sur des exemples tirés de l'expérience acquise dans les centrales REP ; l'année 1991 avait été consacrée à la rédaction du cahier des charges et du dossier pédagogique ; 1992 a été consacrée à la mise en place de la logistique (fabrication des chantiers écoles, formation des formateurs...) et au lancement des premiers stages ; 16 000 attestations ont été délivrées aux personnes ayant suivi ce stage en 1993.

Des actions nouvelles ont été mises en place en 1993, comme les stages FCSF1 et FCSF2 (Formation au fonctionnement pour des agents de maintenance 1^{er} ou 2^{ème} degré). Par ailleurs des actions inadaptées ont été remplacées au profit d'actions plus adéquates : Éléments de Fonctionnement et de Sûreté pour la Maintenance, Formation Fonctionnement Maintenance, stages de maintenance pour soupapes SEBIM, stage sur l'évacuation des assemblages combustibles irradiés (en liaison avec le CETIC).

Par ailleurs, complétant l'action de l'IFM, une Formation Fonctionnelle Cadre à l'Initiative des Entreprises (FPCIE) débute alors au centre des Mureaux pour préparer des agents à tenir des postes d'ingénieurs dans les ingénieries de sites.

Cet ensemble d'actions est tout à fait significatif. Il doit cependant s'inscrire dans un système global de gestion des compétences, dont le bon fonctionnement résulte d'un équilibre parfois difficile à atteindre entre divers facteurs perturbateurs.

3.4.2 La gestion des compétences reste cependant délicate

Le premier facteur de perturbation est la réorganisation générale de la formation à EDF. 1994 voit en effet la formation de maintenance prise dans la réforme globale de la formation professionnelle à EDF, qui s'oriente dans deux directions :

- le passage d'un système conçu pour délivrer une formation initiale de masse centralisée à un système plus "intégré" où la hiérarchie des CNPE gère les compétences, la cohérence étant maintenue au niveau central par les MCP ; le premier système était bien adapté pour compléter la pratique acquise par le démarrage des tranches du programme électronucléaire ; pour EDF le second apparaît mieux adapté à un parc arrivé à maturité technique ;
- l'introduction et la généralisation de l'évaluation individuelle, destinée à la fois à mieux prendre en compte le potentiel et les aspirations du stagiaire et à diminuer le coût de la formation du fait de cette meilleure adéquation.

⁴⁷ Rappelons qu'EDF estime à près de 20 000 personnes le nombre d'intervenants extérieurs qui travaillent dans les centrales nucléaires, essentiellement pendant les arrêts de tranche.

La conduite de ce changement s'appuie sur les expérimentations qui débutent en 1994 sur les CNPE de Dampierre, Cattenom, Belleville et Gravelines), avec le développement d'un Système local de Développement des Compétences (SLDC). Sans que, à ma connaissance, il y ait beaucoup d'évolution sur le fond c'est-à-dire sur le contenu même des stages, EDF commence à formaliser des principes directeurs pour l'évaluation individuelle, en gestation depuis 1992 environ. Aujourd'hui la bonne mise en place des SLDC fait partie des critères retenus par l'Inspection nucléaire dans son référentiel d'évaluation des sites.

Parallèlement les développements de la formation initiale sont pris en charge par les différentes entités des MCP, par métier et par thème transverse (dont la sûreté), en appui aux sites. Le Service de la Formation professionnelle abandonne quelque peu son rôle dominant d'opérateur de formation pour devenir maître d'oeuvre des orientations de fond décidées au niveau de l'EPN.

Ce bouleversement des méthodes nécessite un remaniement assez profond des modes de fonctionnement des sites. Comme dans toute période transitoire, les ajustements se font parfois avec des à-coups. Par exemple le service Travaux de Saint Alban a bien élaboré un référentiel de compétences métiers pour cerner ses besoins en matière de formation (ainsi que d'évolution personnelle des agents) ; en revanche il n'y a pas véritablement de règle définissant la délivrance des habilitations par métier : le document émis par le site ne fait pas la correspondance entre formation et habilitation, et c'est au chef de service d'effectuer ce travail. De même la gestion des équivalences de stages débouchant sur les habilitations SN semble être mal définie. En sens inverse, la gestion des compétences s'est inscrite fermement dans la durée puisque tous les chargés de contrôle ont suivi la formation *ad hoc* et font en moyenne un recyclage tous les 2 ans. La pratique des entretiens individualisés se généralise dans les services.

Plus fondamentalement, la gestion des compétences spécifiques de l'arrêt de tranche, en liaison avec l'apparition des nouveaux métiers, est parfois un peu malmenée. Dans une étude portant sur l'ensemble du Parc, l'EPN recensait au début 1995 plusieurs difficultés :

- la reconnaissance et l'animation insuffisante des compétences : il y a trop peu de formation spécifique aux missions complexes de l'arrêt (gestion de projet), la gestion prévisionnelle des métiers d'arrêt à l'échelle du parc est encore insuffisante (construction des compétences, mobilité géographique, évolution de carrière...), le cadre existant d'évaluation et de gestion de carrière ne prend pas suffisamment en compte le fonctionnement en mode « projet » pour certains acteurs détachés sur l'arrêt ; l'étude reconnaissait cependant que des formations spécifiques sont organisées localement ;
- la rotation importante des acteurs de l'arrêt : les principaux personnages de l'arrêt (chef d'arrêt, coordinateur d'arrêt, ingénieurs conduite détachés en arrêt) ne restent en poste que pour une durée et un nombre limité d'arrêts ; il en résulte que des responsabilités importantes de management sont parfois confiées à des personnes peu expérimentées et que le succès ne repose parfois que sur des individualités fortes.

Mes entretiens avec les syndicats ont montré que cette opinion sur l'excessive rotation des acteurs est largement partagée. Ainsi M. ROUSSON (CFTC) estimait le 5 février 1997 que *"pour fonctionner correctement, la SPAT devrait garder les gens pendant 3 à 5 ans. Or généralement ils font 2 arrêts seulement. La SPAT est devenue une structure obligée pour « avoir des galons » et les jeunes ingénieurs n'y font que passer. Les impératifs de la gestion de carrière entraînent une mobilité excessive"*. Je remarque cependant que le fait que la SPAT soit devenue, aux dires de M. ROUSSON, un passage obligé pour accélérer sa carrière est en soi une bonne chose ! Cela voudrait dire que les fonctions d'arrêts de tranche commencent à être reconnues.

EDF considère que les entités nationales ont un rôle important à jouer, notamment pour assurer la gestion prévisionnelle des compétences au niveau du parc, pour établir les cursus de formation spécifiques des métiers d'arrêt, pour « animer » les métiers d'arrêt en étant à l'écoute des sites et de leurs besoins. Un deuxième volet d'actions concerne la mise en place de véritables réseaux de professionnels, afin de développer le partage de l'expérience ; EDF observe d'ailleurs que les réunions de chefs d'arrêt constituent les prémices de cette animation des métiers qui reste à développer. On rejoint alors ici un autre des volets de la maîtrise des arrêts, qu'EDF appelle la « capitalisation de l'expérience ».

3.5 La qualité de l'arrêt repose enfin sur la capitalisation de l'expérience

La capitalisation de l'expérience élargit la perspective du retour d'expérience « classique » dans le nucléaire. Dans l'esprit d'EDF il s'agit d'un processus à plusieurs visées, qui concerne tout d'abord le développement de la capacité d'expertise à l'échelle du parc. On relève à la fois une difficulté pour les entités nationales à assurer leur rôle d'expertise et d'appui auprès des sites et réciproquement une certaine réticence des sites à contribuer à l'expertise Parc. Ensuite le contenu et le processus de retour d'expérience sont jugés encore insatisfaisants : l'analyse technique et l'analyse sûreté des affaires importantes ainsi que l'analyse des durées d'arrêt sont correctement traitées estime EDF, alors que les domaines transverses ou non techniques (organisation et procédures d'arrêt par exemple) sont moins bien couverts ainsi que les échanges de bonnes pratiques.

D. CANGINI me faisait part récemment d'évolutions assez importantes par rapport à ce constat, qui commence peut-être à dater un peu. Il m'indiquait ainsi un fort développement des réseaux de personnes : réseau des chefs d'arrêt (axé sur la conduite des arrêts, dans une perspective très opérationnelle) ; réseau des responsables prestataires (uniquement sur l'aspect politique et doctrine générale du recours aux prestataires) . réseau des chefs de service impliqués dans la maintenance (1 réunion par an pour l'ensemble des personnes concernées).

Par ailleurs un site peut demander à partager l'expérience des autres sites : une réunion d'une journée est alors consacrée à ce partage. Le site prend en charge l'organisation de la réunion ; les MCP s'occupent de la logistique et mettent à disposition leurs meilleurs spécialistes, ils rédigent un questionnaire en amont destiné à sensibiliser les autres sites et à cerner le problème évoqué. Pour D. CANGINI, un point important est que les sites participent à ces réunions sur une base volontaire, ce qui conduit à des réunions riches et constructives puisque ne viennent que des gens motivés et sensibilisés

au sujet du jour. Une quinzaine de ces réunions ont eu lieu jusqu'ici et l'EPN compte bien en pérenniser le principe.

De plus les MCP commenceraient à développer leur fonction d'appui dans un sens réellement opérationnel. Suite à la demande d'un site (chef de site ou comité de direction), un cahier des charges est établi avec les MCP compétents puis une délégation de ceux-ci se rend sur le site pour l'auditer. Le rapport MCP est remis au chef de site qui en devient propriétaire, c'est-à-dire responsable de sa mise en application totale, partielle ou de sa non application.

Tous ces processus de partage d'expérience, de mise en réseau des compétences, bien qu'encore très embryonnaires, montrent à l'évidence que des liens forts unissent la démarche Sûreté Maintenance et la démarche MCP/Ingénieries de Sites, qui a dans un domaine plus restreint la même vocation et les mêmes ambitions. C'est dire combien l'articulation entre la démarche Sûreté Maintenance et les autres démarches du parc est indispensable.

4. L'ARTICULATION NECESSAIRE AVEC LES AUTRES DEMARCHES DU PARC

4.1 La démarche MCP/Ingénieries de site rejoint certains objectifs de la démarche Sûreté Maintenance

Comme la démarche Sûreté Maintenance, la démarche MCP/Ingénieries de site est un ensemble complexe : elle inclut à la fois des évolutions dans la structure et les modes de fonctionnements des Moyens centraux, une refonte des relations avec les ingénieries de site en liaison avec leur montée en puissance, une redéfinition des missions des unités opérationnelles nationales (UTO, création de l'UNIPE) en liaison avec l'évolution des relations avec la Direction de l'Équipement. C'est sur le second de ces aspects que je souhaite apporter ici quelques précisions.

4.1.1 La démarche MCP/Ingénieries de site tend à constituer un réseau de compétences

Selon les termes mêmes employés le 20 novembre dernier par P. CAILLOL, pilote de la démarche MCP/IS, celle-ci s'effectue *"en phase avec le choix d'un mode de gouvernement décentralisé dans un parc techniquement homogène."* Il s'agit principalement de mettre en place et faire fonctionner une ingénierie de maîtrise d'ouvrage du parc en exploitation autour d'une composante centralisée, partie intégrante des MCP, et d'une composante « Ingénierie de site » dans chaque centre de production.

Cette évolution était sous-jacente aux premiers pas de la réforme des MCP, lancée en 1991. Rappelant que les missions *"historiques et permanentes"* des MCP étaient complétées de plusieurs facteurs d'évolution majeurs, le *Bilan 1991 de la Sûreté nucléaire en Exploitation* relevait parmi ceux-ci *"la reconnaissance du Parc en tant que Système. Elle exige que les MCP travaillent de façon plus transverse en intégrant pleinement la vision Parc. Ce mouvement est favorisé par le développement parallèle d'ingénieries de site prêtes à prendre progressivement le relais pour traiter les problèmes*

locaux, mener les analyses de premier niveau et fournir un retour d'expérience pertinent."

C'est en approfondissant les besoins d'anticipation et de réactivité face aux événements que la nécessité d'un meilleur couplage entre MCP et ingénieries de site s'est affirmée au cours de 1992. Les relations entre experts de site et experts centraux se sont développées tout spécialement dans les domaines suivants : contribution à l'élaboration des politiques et stratégies nationales et leur appropriation par les sites ; identification de ce qui peut devenir un problème national ; optimisation des activités de contrôle et de maintenance ; élimination des modifications locales ; analyse du retour d'expérience.

L'année 1993 a été, pour ce qui concerne le réseau des ingénieries, consacrée à la clarification des relations avec les sites au moyen de l'établissement concerté de protocoles. Trois grands axes d'évolution ont été explorés : 1/ une meilleure formalisation des prestations fournies par les entités MCP aux sites ; 2/ une aide accrue apportée aux sites dans le traitement des anomalies ; 3/ un rééquilibrage des missions de service et d'assistance entre l'UTO (500 personnes basées à Marne-la-Vallée) et l'UNIPE (une centaine de personnes basées à Lyon).

Alors que 1994 a vu une progression significative des activités traitées en réseau, 1995 a permis de corriger certains défauts d'ajustement. La meilleure prise en compte locale des affaires a conduit les ingénieries de site à se focaliser davantage sur les priorités du Parc. Parallèlement la maîtrise croissante des ingénieries de site pour la résolution des difficultés locales s'est illustrée par la très forte réduction dans la remontée au niveau central des fiches d'anomalies : 150 au lieu de 1000 environ les années précédentes. Ce mouvement a permis aux MCP de se concentrer sur les dossiers à plus forts enjeux nationaux.

Il ne me semble pas que 1996 ait amené d'évolutions majeures sur la conduite du processus engagé. Tout au plus pourrait-on dire qu'il tend à se banaliser (dans le bon sens du terme) avec l'essor des différents réseaux sites-MCP, dans les autres domaines.

On pourrait se demander pourquoi ne pas rebaptiser la démarche MCP/IS en « démarche Parc-Réseau » par exemple. La réponse réside certainement dans l'objectif ultime de l'évolution engagée en ce sens par l'EPN : il s'agit bien de faire émerger les problèmes et difficultés susceptibles d'avoir un fort enjeu au niveau du parc nucléaire tout entier, pour trouver les solutions adéquates. Formulé ainsi, cet objectif cadre tout à fait avec les missions de veille, d'anticipation et de réflexion qui sont dévolues aux fonctions d'ingénierie.

J'ai donné dans les paragraphes consacrés à l'ingénierie de Saint Alban quelques indications sur la façon dont s'établissent, concrètement, les relations nouvelles entre l'ingénierie de site et l'ingénierie centrale du parc. Les Analyses et Affaires Parc montrent un autre aspect de la question.

4.1.2 Les Analyses et Affaires Parc sont représentatives du fonctionnement en réseau

Lancé dès le début des années 90, le traitement des problèmes sous forme d' « affaires » s'est généralisé au sein des MCP. Dans sa dimension « réseau », ce mode de fonctionnement se décline sous la forme des Analyses Parc et des Affaires Parc :

- les Analyses Parc ont pour objet d'étudier de façon poussée certains événements jugés significatifs pour la sûreté et susceptibles d'intéresser les autres sites nucléaires ; d'autres Analyses sont suscitées par l'apparition de problèmes génériques sur le parc ; les Analyses débouchent sur des plans d'actions et peuvent être traitées de façon plus approfondie dans le cadre d'une Affaire Parc ;
- les Affaires Parc ont une ampleur plus grande que les Analyses ; elles ont vocation à proposer les stratégies de traitement des dossiers à fort enjeu de sûreté ou de disponibilité, avec une vision plus globale des préoccupations du parc ; les Affaires Parc peuvent se dégager de l'événementiel pour s'orienter vers des problématiques d'amélioration des performances ; la dimension « sûreté » est cependant toujours présente.

Au titre des Analyses Parc on peut citer par exemple pour l'année 1995 l'ouverture de l'analyse AnP 95009 : incident de mise à niveau K1 ⁽⁴⁸⁾ à Penly 2. En février-mars 1995 deux anomalies sont constatées sur l'intégration d'une modification sur des vannes qualifiées K1 dans le bâtiment réacteur. Ces anomalies peuvent conduire à des refus de manoeuvre des organes concernés. L'une d'elles (anomalie de graissage) est générique car d'autres sites utilisent la même graisse inappropriée. Le dossier de l'Analyse a été traité en liaison avec d'autres dossiers répondant aux mêmes implications (dossier « réglage des robinets », Affaire Parc « pérennité de la qualification », etc.) et des actions spécifiques ont été identifiées : clarification de l'organisation pour intervenir sur des matériels redondants, remise à niveau des vannes dont le graissage est mauvais, intégration du retour d'expérience dans les procédures d'intervention pour l'une des anomalies, suivi du prestataire défaillant en vue de lever la suspension provisoire dont il était frappé.

Au titre des Affaires Parc ouvertes en 1995 on peut mentionner un dossier relatif aux structures internes des générateurs de vapeur, un dossier sur la thermohydraulique locale des bras morts et des clapets RIS/RCP, un dossier sur les anomalies de fonctionnement du CONTROLBLOC, un dossier sur les mécanismes de grappes, un dossier sur la mesure du niveau cuve, etc.

Quel jugement porter sur l'efficacité du dispositif ? EDF estime que les premiers résultats sont positifs et que la réactivité face aux aléas a été améliorée. L'entreprise cite le problème nouveau survenu en 1995 : la dégradation des plaques entretoises des générateurs de vapeur. Cette dégradation a été mise en évidence à Fessenheim puis sur d'autres tranches du parc. EDF juge que la bonne interaction entre les sites concernés et

⁴⁸ C'est-à-dire mise à niveau permettant le fonctionnement du dispositif concerné en conditions accidentelles.

les MCP, dans l'analyse du problème, a permis d'orienter les expertises, d'apporter la démonstration de sûreté et de réduire l'indisponibilité des tranches concernées, par des solutions techniques appropriées.

P. CAILLOL me disait le 20 novembre dernier que plusieurs axes de progrès restent à poursuivre : le renforcement du pilotage au niveau local (sur les études stratégiques menées par l'ingénierie et les propositions d'actions qui en découlent), la consolidation du dispositif de régulation des ingénieries (définition et hiérarchisation des priorités), le renforcement des compétences des ingénieries de sites dans certains domaines (en particulier les questions touchant au fonctionnement des installations).

Quoi qu'il en soit, le fonctionnement en affaires est jugé par EDF essentiel pour parvenir à une résolution rapide et efficace des difficultés qui peuvent survenir sur le Parc. En ce sens, il participe de la lutte engagée par le parc pour garantir sa compétitivité.

4.2 La démarche Maîtrise des Coûts reste en arrière plan

Parmi les 6 « démarches » qui structurent l'évolution récente du Parc, la démarche Maîtrise des Coûts fait partie, aux dires de B. DUPRAZ, des démarches « outils », les 3 démarches « métiers » étant axées sur la conduite, la maintenance et le réseau d'ingénierie. Le qualificatif d'« outil » est certainement un peu réducteur étant donné que la maîtrise des coûts est un objectif en soi et l'une des composantes majeures de la stratégie d'EDF en tant que producteur d'électricité...

4.2.1 La maîtrise des dépenses recherche une stabilisation des coûts de la maintenance

Je ne dresserai pas ici un panorama complet des actions engagées par le Parc nucléaire pour préserver sa compétitivité face à la montée en puissance des sources d'électricité alternatives : ce n'est pas l'objet de ce rapport. Je présenterai simplement quelques-unes des grandes lignes d'action mises en oeuvre, dans ce qu'elles peuvent avoir de liens ou de répercussions sur la démarche Sûreté-Maintenance :

- le développement de protocoles formalisés entre les entités EDF, entamé au seuil des années 90 : il vise bien sûr à clarifier les responsabilités dans la conduite des prestations offertes par certaines entités (USI, UTO, ORI, SFP...) à d'autres (sites, UTO...), ce qui était l'un des messages du rapport NOC ; il vise également à mieux encadrer les mécanismes de fixation des prix facturés en interne ;
- la refonte du cadre d'analyse de gestion, conçu en 1991 et installé en 1992, afin de développer la responsabilisation des gestionnaires ; dans de nombreux métiers la démarche Sûreté-Maintenance introduit une responsabilité globale de l'acteur, allant des aspects techniques aux aspects gestionnaires ;
- le suivi budgétaire des arrêts de tranche, grâce à des études approfondies sur le coût des phases importantes des arrêts (lancées en 1993 sur 4 sites et élargies

ensuite) ; elles ont permis de mettre en évidence des coûts allant du simple au double pour des actions comparables ;

- surtout, l'intégration des paramètres économiques le plus en amont possible dans les choix techniques : *"avant d'engager une dépense, il faut apprendre à s'interroger sur sa nécessité, à se demander s'il est possible de la minorer ou de la reporter. S'agissant des dépenses de maintenance, il faut pouvoir éliminer toute opération relevant exclusivement d'une approche perfectionniste au profit d'opérations qui auront fait l'objet d'une optimisation technico-économique"* (49) ; notons que, parmi les missions dévolues à l'ingénierie du parc (sur les sites ou dans les MCP) figure désormais explicitement l'obligation de procéder à des évaluations technico-économiques lors des choix de maintenance ; on peut également rattacher à cette démarche le projet d'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité ;

Bien entendu toutes les actions classiques de maîtrise des coûts, agissant sur les postes traditionnels de dépenses de l'entreprise (formation, ressources humaines, moyens techniques, etc.) sont susceptibles d'interagir avec les objectifs et principes de la démarche Sûreté-Maintenance.

Je dois signaler l'inquiétude qu'ont manifestée les représentants de la CFTC : *"Pour des raisons de compétitivité, les chargés de contrôle vont disparaître et il ne restera bientôt plus que des chargés d'affaires. Les chargés de contrôle mobilisent trop de monde et la tendance qui se dégage actuellement est de concentrer des tâches toujours plus nombreuses sur les chargés d'affaires. D'ailleurs les prestataires seront de plus en plus « auto-contrôlés »".* Si cette inquiétude s'avérait justifiée, il me semble que ce serait une dérive certaine et que l'autorité de sûreté devrait prendre position clairement sur cette supposée volonté d'EDF. Au vu de ce qu'a été mon expérience à Saint Alban, je conçois mal que les tâches dévolues au chargé de contrôle puissent être transférées sur le chargé d'affaires. Comment pourrait-on travailler 48 heures par jour ?

4.2.1 La maîtrise des arrêts vise à améliorer la disponibilité des réacteurs

Le lien est évident entre la maîtrise des arrêts, les objectifs de la démarche Sûreté-Maintenance et ceux de la démarche Maîtrise des Coûts : tout ce qui concourt à une bonne préparation, une bonne planification, une bonne réflexion préalable sur les risques potentiels des interventions et la façon d'y parer ou d'y remédier, concourt directement à la satisfaction commune des deux démarches.

Anecdote significative, l'un des documents qui m'a été remis lors de la réunion de travail du 20 novembre, et que j'ai largement utilisé dans les paragraphes antérieurs, n'a pas été élaboré dans le cadre de la démarche Sûreté-Maintenance. Il s'agit du rapport *Organisation générale des arrêts de tranche*, conçu et mis au point dans le cadre du « Projet Disponibilité-Maîtrise des Arrêts », et piloté par le Département Exploitation des MCP. Afin de prendre mes distances avec cette perspective, j'ai délibérément renoncé à reprendre pour le point B.3. de ce chapitre le titre du document pour lui préférer

⁴⁹ Rapport annuel de l'Exploitation du Parc nucléaire 1993.

"L'amélioration de la qualité des arrêts de tranche". La lecture du document, comme celle de certains passages de son introduction, montre cependant que les auteurs développaient une vision globale de l'organisation des arrêts : *"Fortement ancrée dans le terrain, l'étude « Organisation générale des arrêts de tranche » a pour objectif de réaliser un constat de la situation actuelle et d'identifier des voies d'amélioration pour assurer la maîtrise des arrêts programmés sur l'ensemble des paramètres (sûreté, durée, coût, sécurité, dosimétrie, conditions de travail)."* C'est confirmer de façon éclatante que la démarche Sûreté-Maintenance et le Projet Disponibilité — et au-delà la démarche Maîtrise des Coûts — sont intimement imbriqués.

Un autre lieu d'interaction vient de la volonté affichée de réduire la durée des arrêts. Il semble cependant qu'EDF ne s'est pas lancé, comme les exploitants américains, dans une course forcée à la réduction. La durée médiane des arrêts, hors avaries et visites exceptionnelles, était en 1996 de 42,6 jours pour les REP 900 MW et de 51 jours pour les REP 1300 MW, provenant d'un maximum de 71,1 jours (en 1991) pour les 900 MW et 89,5 jours (en 1992) pour les 1300 MW.

Bien entendu les syndicats m'ont tous affirmé que la politique de la maison consiste au contraire à réduire encore et toujours la durée des arrêts. Ils insistent fortement sur les risques que cette réduction fait peser sur la sérénité des acteurs de la maintenance, agents EDF ou prestataires, donc sur la qualité des opérations effectuées. Tous m'ont dit que l'objectif de performance-durée prime désormais sur celui de travail bien fait. On m'a même rapporté des comportements « pervers » tendant à redémarrer la tranche dans les délais fixés (effet d'affichage) sans avoir accompli toutes les activités de maintenance prévues, puis s'arrêter quelques jours après afin d'achever le travail ! Je ne sais qu'en penser. Si c'est exact, la direction du Parc doit s'en préoccuper car elle est de toute façon plus soucieuse de la disponibilité globale de ses réacteurs que du respect de la durée prévue des arrêts planifiés.

La compétitivité de l'entreprise passe ainsi par la gestion rigoureuse de l'existant ; elle passe également par la bonne maîtrise des travaux effectués sur les installations. Mettre à profit les travaux de maintenance pour améliorer la qualité globale de l'outil de production, dominer à la fois les dépenses induites et les perturbations potentielles amenées par les modifications elles-mêmes et les évolutions concomitantes dans les modes d'exploitation, c'est justement l'objet de la rénovation des liens entre la Direction de l'Exploitation du Parc nucléaire, conclue en 1992.

4.3 Les liens avec la Direction de l'Équipement ont été renouvelés

Parmi les points d'amélioration mis en évidence dans le rapport NOC figurait la nécessité que les services opérationnels (sur les sites) prennent en charge le suivi et la réalisation des modifications. C'était rompre avec l'héritage de la « culture charbon » où la Direction de l'Équipement construisait puis donnait les clefs à l'exploitant, l'ingénierie d'exploitation étant considérée comme une activité peu noble. Parallèlement, après la construction rapide des tranches dans les années 80, l'exploitant croyait parfois savoir mieux que le constructeur ce qu'il convenait de modifier dans le process ; il en a tiré quelques déconvenues.

Après cette période d'incompréhension réciproque, les esprits ont mûri et le tournant des années 90 a vu replacés au centre de la perspective les besoins de l'exploitant. Le protocole Direction de l'Équipement-Exploitation du Parc nucléaire, signé le 10 octobre 1992, a ainsi vocation à clarifier les responsabilités et les modes d'intervention de l'ingénierie du parc en exploitation :

- l'EPN est clairement défini comme le maître d'ouvrage, qui définit les besoins fonctionnels ; la DE est le maître d'oeuvre, qui définit la façon de satisfaire ces besoins ;
- les travaux d'ingénierie (études, réalisations sur site) sont désormais développés en commun et encadrés par un programme triennal ; les affaires sont systématiquement contractualisées (durée, coûts...) ;
- les lieux d'échange et de dialogue sont multipliés : Instance technique commune, qui doit trancher d'éventuels différents ; comité DE-EPN annuel ; création de l'UNIFE en 1993 (Unité nationale d'Ingénierie du Parc en Exploitation), unité opérationnelle relevant de l'EPN dont la mission est de représenter l'EPN par délégation pour tout ce qui concerne l'IPE, de coordonner l'ensemble des relations avec la DE et ses centres d'ingénierie ; création des Équipes communes sur les sites, associant personnels des CNPE et personnels de la DE ;
- les systèmes d'assurance qualité ont entamé une harmonisation que d'aucuns m'ont dit difficile ; je ne suis pas sûr que, comme le déclarait L. STRICKER le 20 novembre 1996, *"la politique de qualité des deux directions est maintenant commune"*.

"Les Équipes communes ont eu du mal à trouver leurs marques" m'indiquait L. STRICKER, mais elles assurent désormais un bon contact entre la direction du site et les centres d'ingénierie. L'IPSN estime aussi que *"la liaison DE-EPN, à travers l'UNIFE et les Équipes communes, est très sensible. Pour la DE la tranche est un but en soi, pour l'EPN elle est l'outil grâce auquel elle produit de l'électricité."*

Pour compléter ce très bref tableau de l'organisation de l'Ingénierie du Parc en Exploitation, je dirai qu'un des acquis des évolutions engagées en 1992 est, pour EDF, un recentrage des préoccupations de l'IPE sur les problèmes des sites, alors qu'auparavant les préoccupations du système d'IPE étaient davantage déséquilibrées vers l'amont des affaires. L'accent mis par les directions sur l'importance de la préparation des interventions, la concentration des missions de l'UNIFE sur la partie aval de la maîtrise d'ouvrage, le repositionnement du rôle des centres d'ingénierie ont été des moteurs pour la qualité des réalisations sur les sites.

Cependant EDF met justement au titre des progrès encore indispensables l'amélioration de la qualité des interventions sur site, qui passe par : 1/ une meilleure compréhension de l'IPE, qui nécessite une plus grande discipline des sites, en particulier pour ne pas modifier tardivement les programmes d'IPE ; 2/ une meilleure préparation des interventions, qui doit se traduire dans la qualité des dossiers d'intervention et dans

l'interaction des travaux de modification et des travaux de maintenance pendant les arrêts de tranche ; 3/ la maîtrise des corrections sur les dossiers d'intervention en cours de réalisation sur les sites, qui manifeste une maturité encore insuffisante dans les études de réalisation et pose des problèmes pour l'achèvement des modifications dans de bonnes conditions. Unis « pour le meilleur et pour le pire », les deux partenaires tiennent toujours à marquer leur personnalité et à gratifier l'autre de quelque menu grief...

Sans vouloir ni pouvoir juger de l'efficacité des dispositions mises en oeuvre depuis 1992, il me semble que le nouveau mode de fonctionnement de l'IPE répond au moins en partie à la recommandation formulée dans le cadre du rapport NOC.

4.4 Les autres démarches de l'EPN sont également mises à contribution

4.4.1 La démarche Conduite a permis de dégager des ressources humaines pour les MSQ

Je souhaite seulement mentionner ici l'une des conséquences favorables de la démarche Conduite pour la démarche Sécurité-Maintenance. On sait que la démarche Conduite a consisté à redéfinir les missions de certains personnels des équipes de quart, en particulier le chef de quart et l'ingénieur Sécurité-Radioprotection.

L'analyse réalisée dans les années 80 à la suite de l'accident de Three Mile Island avait conduit à créer la fonction d'ingénieur Sécurité-Radioprotection, chargé du contrôle en temps réel du respect des impératifs de sécurité. Malgré un certain équilibre entre les rôles du chef de quart, « patron » de l'équipe de conduite, et de l'ISR, le chef de quart s'est progressivement désinvesti de la sécurité en temps réel, s'en remettant à l'ISR devenu un « Monsieur Sécurité » de la conduite. EDF a jugé que cette évolution était un frein à la prise en compte, dans l'ensemble des équipes d'exploitation, d'une culture et de comportements de sécurité qui devaient intégrer pour arbitrage les impératifs de sécurité et les contraintes technico-économiques de l'exploitation.

En conséquence EDF a décidé de partager sans ambiguïté les responsabilités et elle a distingué : 1/ une ligne opérationnelle, dirigée par le chef d'exploitation, qui gère en temps réel les contraintes d'exploitation et les impératifs de sécurité ; 2/ une ligne d'appui fondée sur :

- une capacité d'expertise constituée par les ingénieurs de conduite placés au sein des ingénieries de site ;
- une capacité de contrôle et d'expertise assurée par les ISR placés au sein des MSQ ;
- une capacité de préparation des tâches et de logistique, placée dans les structures hors quart ou dans des structures communes à l'ensemble de la tranche (planification, arrêt de tranche...).

Je me suis laissé dire également que les aspects financiers (primes versées aux personnels travaillant en quart) n'étaient pas étrangers à la politique adoptée par EDF et vigoureusement combattue par les syndicats.

Quoi qu'il en soit le renforcement des moyens des MSQ, tant en volume total qu'en diversité des compétences, n'a pu qu'avoir un impact favorable. Dans sa *Synthèse sur la mise en oeuvre du plan d'actions Sécurité-Maintenance pour l'année 1992*, l'Inspection nucléaire notait ainsi que la mise en place des chefs d'exploitation sur les sites permettait aux ISR de commencer à participer aux actions de vérification sur le terrain (au sens de l'article 9 de l'arrêté Qualité de 1984).

4.4.2 La démarche Système d'Information a donné des outils aux acteurs du terrain

La démarche Système d'information est historiquement celle qui s'inscrit dans la plus longue durée. Amorcée en 1986 avec le Schéma directeur informatique, ses effets ont commencé à être tangibles en 1991, avec le chargement des bases de données et la généralisation à l'ensemble des sites des modifications structurelles amorcées auparavant. Du point de vue de la maintenance, deux logiciels ont une importance particulière : SYGMA et SAPHIR.

SYGMA (Système de Gestion de la Maintenance) est une adaptation pour les besoins d'EDF d'un logiciel américain (PIMS), qui je crois avait été conçu pour l'aéronautique. Initialement l'introduction de SYGMA avait pour EDF un objectif clair : l'amélioration de la productivité des opérations de maintenance. Mais il est vite apparu qu'un tel logiciel contribue aussi à introduire davantage de rigueur dans la gestion des interventions et peut donc contribuer à améliorer la sûreté.

Bien sûr la période d'introduction a été difficile. L'obligation d'entrer les demandes d'intervention dans SYGMA a pu paraître une contrainte inutile et comme un frein à la rapidité des interventions ; mais les agents se sont aperçus ensuite que cela les incitait à plus de rigueur dans l'analyse des événements possibles, dans la formulation des demandes, dans la réflexion amont. SYGMA a également contribué à une modification du travail : augmentation du travail de bureau au détriment de la collecte d'informations sur le terrain, décalage d'une partie de la charge de travail vers l'amont de l'arrêt, etc.

SAPHIR est le logiciel spécialisé dans la constitution du retour d'expérience national. Testé avec succès en 1992 à Cattenom et aux MCP, son application a d'abord été étendue au Blayais et à Golfech, puis aux autres sites. SAPHIR a pour vocation première de faire circuler au niveau national les informations concernant des « événements » jugés intéressants pour l'ensemble du parc. Compte tenu des informations entrées dans chaque fiche SAPHIR, cette vocation s'est élargie rapidement au service des études probabilistes de sûreté, du fichier des événements de la conduite⁽⁵⁰⁾ et du projet d'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité⁽⁵¹⁾. SAPHIR assure également depuis 1994 l'historique des interventions gérées sur SYGMA.

Or la vision que j'ai pu en avoir sur le terrain m'amène à penser que le renseignement de SAPHIR est en grande partie lié à l'idée que se font les agents sur l'opportunité d'ouvrir ou non une fiche SAPHIR : l'événement concerné est-il susceptible

⁵⁰ Remplacé depuis 1994 par le fichier des situations.

⁵¹ Voir *Exploitation du Parc nucléaire 1993*, EDF-EPN, mars 1994.

d'avoir de l'intérêt pour les autres entités EDF (sites, MCP) ? faut-il donc l'entrer dans la base de données ou le laisser de côté ? A l'inverse d'autres logiciels utilisés par EDF, SAPHIR ne semble pas dénué de toute subjectivité. Est-il légitime de l'utiliser pour des applications plus « techniques » que le simple échange d'informations pour lequel il était conçu ? A vouloir tant faire l'outil ne risque-t-il pas de se transformer en usine à gaz où l'information disponible sera tellement variée qu'elle en sera déstructurée ?

Notons enfin la généralisation de X-PRO à partir de 1994, logiciel dédié à la « gestion de projet » pour les arrêts de tranche. Aux dires de plusieurs personnes, X-PRO est un outil extrêmement puissant, peut-être même trop puissant par rapport aux besoins réels d'un arrêt dans une centrale nucléaire. L'introduction de X-PRO est cependant récente : gageons à ce titre qu'après la phase d'adaptation indispensable les ressources infinies de l'imagination humaine sauront solliciter les fonctions les plus pointues du logiciel, au service d'une meilleure planification des arrêts de tranche.

Dans des entretiens tenus à l'IPSN en 1994, il m'était apparu que l'Institut attachait une grande importance au suivi par l'autorité de sûreté de l'extension de l'informatique centralisée. L'introduction généralisée des systèmes informatiques pouvait, selon l'Institut, faciliter la mise en place des transformations faites pour améliorer la maintenance. Mais l'IPSN relevait que :

- logiciels et organisations sont réciproquement structurants : l'utilisation d'un logiciel peut modifier les organisations et réciproquement l'utilisation d'un logiciel varie avec les organisations ; il est exact que, par exemple, l'utilisation de SYGMA a conduit les sites à modifier le principe des « réunions DI » au cours desquelles sont examinées toutes les demandes d'intervention apparues sur la tranche le jour même ; j'ai souvenir d'avoir entendu à Saint Alban quelques agents du site face à leur écran m'indiquer certaines lignes ou rubriques sur les écrans de saisie de SYGMA et me dire qu'elles étaient typiquement le reflet de l'origine américaine et aéronautique du logiciel ;
- la sûreté est étroitement liée à la qualité des banques de données sous-jacentes au logiciel ; les opérateurs doivent avoir confiance dans le système ; cela oblige à une rigueur sans faille car une banque de donnée incomplète ou peu fiable perd une grande partie de ses qualités ; j'ai déjà mentionné auparavant certaines difficultés qui ont attiré mon attention à Saint Alban, liées à l'insuffisante qualité du renseignement de SYGMA : certains services l'utilisent de façon incomplète ou différente des autres, ce qui oblige le chef d'exploitation et l'ingénieur sûreté qui préparent la COMSAT à partir à la pêche aux informations ; de même pour les chargés d'affaires qui n'étaient pas situés au coeur du système de circulation de l'information pour leur affaire : SYGMA leur apportait une aide certaine mais devait être complété par ailleurs ; enfin le renseignement direct de SYGMA par les prestataires a pu causer quelques craintes d'une maîtrise insuffisante de l'outil ; ces craintes se sont effacées aujourd'hui et tous les interlocuteurs que j'ai pu rencontrer m'ont affirmé que les prestataires ont eux aussi assimilé SYGMA correctement ;

- *"l'écran peut faire écran à la réalité"*, selon la formule percutante employée par C. AUFORT en 1992 : l'utilisation systématique des bases de données peut avoir un effet néfaste sur la prise en compte du terrain ; je n'ai pas ressenti cette dérive à Saint Alban : l'outil informatique est utilisé pour ce qu'il est, et ne m'a pas paru avoir remplacé les relations de terrain.

En complément du deuxième point évoqué par l'IPSN, je pourrais ajouter que la sûreté est également liée à la qualité du logiciel lui-même. Le *Bilan annuel de la Sûreté en Exploitation*, rédigé sous les auspices du Département Sûreté nucléaire de l'EPN, a souvent consacré quelques développements à la qualité des logiciels. Je remarque à ce titre que, par exemple, l'année 1994 a été l'occasion d'effectuer des modifications sur SYGMA, corrigeant des *"anomalies relevées depuis son lancement afin de lui donner un haut niveau de qualité, en adéquation avec le rôle que joue l'application dans les activités de maintenance"* ⁽⁵²⁾.

L'outil informatique en tant que tel me paraît désormais bien maîtrisé. Il me semble, d'après mon expérience de terrain, que les agents en ont pris la mesure, sachant mieux ce qu'il peut apporter et quelles sont ses limites. Les efforts doivent aujourd'hui porter sur l'ergonomie des logiciels, car il faut avouer que les écrans SYGMA sont particulièrement rebutants (SAPHIR est un peu moins indigeste). D'ailleurs l'ergonomie logicielle va aussi dans le sens d'une plus grande fiabilité dans l'utilisation de l'outil : l'utilisateur peut se concentrer sur le fond des questions et n'a plus à se demander si le curseur est bien placé à la colonne 47 ou s'il n'est pas passé à la rubrique suivante car il aurait tapé trop de caractères...

"La réconciliation des utilisateurs avec un système d'information parfois ressenti comme subi est en bonne voie" indiquait le rapport d'activité 1995 de l'Exploitation du Parc nucléaire. La crise avait-elle donc été si grave que des termes aussi crus soient employés dans ce texte qui a vocation à présenter la vie de l'EPN tout entier pour l'année écoulée ?

C. LA DEMARCHE SURETE-MAINTENANCE, UNE OEUVRE DE LONGUE

HALEINE QUI NECESSITE UNE RIGUEUR SANS FAILLE

Une réforme d'une ampleur telle que celle engagée par EDF au seuil des années 90 dans le domaine de la maintenance ne peut être conduite en un bref laps de temps : elle doit s'inscrire dans la durée. La complexité des enjeux et des mesures associées, et leurs répercussions souhaitées ou non sur la sûreté nécessitent également une forte implication de l'autorité de sûreté et de ses appuis techniques.

⁵² Voir *Exploitation du Parc nucléaire 1994*, EDF-EPN, mars 1995.

1. UN SUIVI RIGOREUX PAR L'AUTORITE DE SURETE

La sûreté des installations nucléaires repose sur l'interaction complexe entre les dispositions techniques et les matériels utilisés, les procédures mises en oeuvre, les hommes et les organisations chargés de maîtriser l'ensemble. La réforme de la maintenance amorcée par le rapport NOC entraine naturellement dans le champ d'action de l'autorité de sûreté. Elle y entraine d'autant plus qu'elle avait pour objet direct de répondre aux demandes formulées par les deux ministres responsables de la sûreté nucléaire. Les deux volets traditionnels d'intervention de l'autorité ont donc été mis à contribution : l'évaluation de sûreté d'une part, la fixation d'objectifs et leur vérification sur le terrain d'autre part.

1.1 La démarche Sûreté-Maintenance est passée au crible de l'évaluation de sûreté

1.1.1 L'IPSN a naturellement instruit les dossiers de l'exploitant

Si l'autorité de sûreté a pour politique de procéder elle-même à l'évaluation des questions « simples » qui peuvent lui être posées dans le cadre de ses missions, c'est sur ses appuis techniques qu'elle se repose pour les sujets de plus vaste ampleur. La réforme de la maintenance entre à l'évidence dans cette dernière catégorie. L'IPSN a donc été sollicité pour procéder à l'évaluation de sûreté des dossiers présentés par l'exploitant.

Cette évaluation s'est principalement effectuée au sein du Laboratoire d'Étude du Facteur Humain, créé au sein du Département d'Évaluation de Sûreté au tout début des années 80. L'accident de Three Mile Island avait mis en évidence l'importance des « facteurs humains » dans la maîtrise de la sûreté des installations nucléaires. Cela a été le point de départ pour l'intégration de ce nouveau domaine dans les compétences de l'IPSN.

L'étude des facteurs humains a longtemps été regroupée avec celle des déterminants de la conduite. Puis une réforme de l'organisation du DES en 1995 a conduit à créer une section autonome, dépendant directement de la direction du DES. Cette Section d'Étude du Facteur humain comprend une quinzaine de personnes (sans compter quelques thésards occasionnels), dont deux ont suivi de bout en bout le démarrage et les évolutions de la démarche Sûreté-Maintenance.

Un trait marquant de la SEFH est qu'elle cherche, peut-être plus que les autres services de l'IPSN, à avoir un regard global sur son champ d'investigation qu'elle étend pour cela hors du nucléaire. C'est ainsi que C. AUFORT m'a indiqué que la SEFH travaille sur les accidents de Challenger et d'Ariane, non pas dans le cadre de services rendus à des commanditaires extérieurs mais pour mieux apprendre et maîtriser les paramètres de la fiabilité dans les organisations et systèmes techniques complexes. De même la SEFH s'intéresse actuellement aux études et expérimentations conduites aux États-Unis sur le *re-engineering*.

L'introduction d'une culture de « sciences humaines et sociales » dans un monde traditionnellement peuplé d'ingénieurs ne s'est pas faite du jour au lendemain. Un effort

personnel d'investissement intellectuel dans ces matières a été nécessaire pour les personnes chargées d'étudier puis de suivre la démarche Sûreté-Maintenance. A en juger par la teneur des entretiens, publications, exposés qui m'ont été présentés au cours de ma propre enquête sur la réforme NOC, il me semble que l'essentiel du savoir a été acquis désormais ! D'après C. AUFORT, il reste aujourd'hui à faire partager plus largement cette approche sociale au sein de l'IPSN : *"nous ne sommes plus tout à fait les « vilains petits canards » mais peut-être encore un peu les « premiers des Mohicans »."*

Pour illustrer l'apport de la démarche « facteur humain » dans l'analyse de sûreté, C. AUFORT m'a conté l'histoire suivante. Chargé d'intervenir sur une vanne située dans un réacteur donné, un prestataire s'était trompé de réacteur et avait manoeuvré la vanne identique située dans la tranche jumelle. Tout le monde avait alors conclu à un manque d'attitude interrogative : même après s'être perdu et avoir erré dans les longs couloirs des bâtiments nucléaires, le prestataire confronté à la vanne enfin trouvée aurait dû se demander s'il s'agissait bien de la bonne vanne, dans le bon bâtiment. En fait, après avoir analysé l'incident, C. AUFORT a estimé que la personne *ne pouvait pas faire autrement* que se tromper. Dans les centrales, les matériels sont référencés par un numéro représentatif de la tranche, puis un sigle représentatif du système fonctionnel auquel appartient le matériel, puis une référence repérant le matériel dans ce système : on parle ainsi de la vanne 2 RRA 122 VP, qui est la vanne 122 VP du circuit RRA (refroidissement à l'arrêt) pour la tranche 2.

Suite à une erreur dans la documentation de la centrale, le local indiqué au prestataire était erroné ; celui-ci a donc cherché autour de lui, puis, en parcourant les bâtiments pour trouver sa vanne, a changé de tranche sans s'en apercevoir ; lorsqu'il a enfin trouvé une vanne portant la bonne référence fonctionnelle, il n'a pas cherché à vérifier quel était le numéro de tranche ; pour lui l'objet porteur de la signification, seul « lieu » de sa recherche, était la référence fonctionnelle de la vanne.

L'histoire ne s'arrête pas là. Pour bien faire comprendre à ses interlocuteurs la « nécessité » de l'erreur commise, C. AUFORT a introduit sciemment une faute d'orthographe dans le rapport rédigé à cette occasion, en supprimant une fois le second « i » du mot « intervention », utilisé à plusieurs reprises dans le rapport. *"90% des personnes qui lisent le rapport ne voient pas la faute d'orthographe"*, car une fois lu début du mot, sa signification s'impose au lecteur qui néglige alors la dernière partie du message formel et ne voit pas que le mot se termine par « ton » et non par « tion » !

L'expérience concrète ouvre les yeux de beaucoup, mais il faut parfois de longues discussions pour convaincre l'ingénieur de l'importance de la psychologie humaine dans certains événements.

Plus généralement l'expérience vécue est indispensable pour percevoir complètement et correctement la réalité. Ce principe que je m'efforce de mettre en oeuvre pour mes propres rapports, à l'Office parlementaire, est également appliqué par l'IPSN. Pour le premier rapport du DES consacré à la démarche Sûreté-Maintenance dans son ensemble, intitulé *« l'amélioration de la qualité et de la sûreté des opérations de maintenance »* (1992), les matériaux constitutifs de l'analyse de l'IPSN étaient les documents fournis par l'exploitant, les visites techniques effectuées sur divers sites par

l'équipe d'experts chargée du dossier, enfin les comptes rendus d'incidents significatifs et les comptes rendus d'inspection des DRIRE.

C'est à l'occasion du second rapport, en 1994, consacré aux prestataires, que l'IPSN a souhaité aller véritablement sur le terrain, non plus seulement dans le cadre de simples « visites techniques » mais aussi pour de véritables visites de chantiers et pour un suivi complet de plusieurs interventions. Comme il est de tradition, une analyse préalable, support à venir des investigations de terrain, a été élaborée à partir de quatre types de données : 1/ les documents fournis par EDF ; 2/ des réunions techniques sur trois sites (Tricastin, Cattenom et Flamanville) pour lesquels d'ailleurs des visites de surveillance avaient eu lieu concernant la formation des prestataires ; 3/ l'analyse d'incidents significatifs survenus durant l'année 1992 impliquant un prestataire ; 4/ un traitement par le DES des données recueillies par les inspecteurs des DRIRE ou de la DSIN lors des visites de surveillance.

Le DES a effectué ses observations de terrain au cours de cinq suivis d'opérations en arrêt de tranche. Pour le choix des opérations, l'analyse préalable avait suggéré quelques critères :

- le DES souhaitait observer au moins une fois la gestion de l'interface entre le CNPE et les trois unités opérationnelles de l'EPN, à savoir l'UTO, le GDL et l'UNIFE ;
- le DES souhaitait pouvoir observer Framatome, prestataire « incontournable », dans une opération de modification et dans une opération de maintenance ;
- le DES souhaitait pouvoir prendre la mesure des différences dues aux spécificités des sites nucléaires CNPE à 4 tranches et CNPE à 2 tranches, CNPE de 900 MW et de 1300 MW, diversités régionales ;
- le choix des observations devait tenir compte des interventions sensibles sur des matériels importants pour la sûreté ayant fait l'objet d'incidents significatifs survenus au cours de l'année 1992 ; notamment il convenait d'observer des interventions où la maîtrise technique sortait du domaine des activités courantes de maintenance et exigeait un haut niveau de qualification ;
- le DES souhaitait enfin examiner la gestion particulière de l'interface conduite-prestataires pendant la période de l'arrêt où cette interface est la plus sollicitée (état de chaudière dit « en génératrice inférieure »).

Compte tenu de ces critères et des contraintes temporelles applicables à la rédaction du rapport, le DES a effectué ses observations sur :

- l'installation d'un automate (SYCOBOR) de régulation de la teneur en bore dans le circuit primaire, sur Cruas-4 ;
- le bouchage des tubes de générateurs de vapeur sur Bugey-4 ;
- la modification des chaînes de mesure du niveau cuve sur Cattenom-2 ;

- le contrôle et la réparation des soudures des piquages des soupapes VVP sur Penly-2 ;
- l'interface conduite-prestataires pour les opérations de maintenance se déroulant pendant la phase de « génératrice inférieure » sur Chinon-4.

Lorsque les CNPE l'ont désiré, le suivi des opérations a été précédé par l'élaboration d'un protocole entre le CNPE et le DES, précisant les objectifs du suivi et les conditions d'intervention des agents du DES. Avec ou sans protocole, chacun des comptes rendus du DES a été soumis à une restitution au niveau du CNPE, destinée à vérifier la validité des faits relatés.

"L'observation sur le terrain nous a énormément appris", m'a indiqué C. AUFORT, "car dans les organisations il y a ce qui est écrit et ce qui reste informel. Il est très important de confronter les deux, sinon le travail d'étude de l'organisation est incomplet." Je souscris pleinement à cette appréciation et il est certain que les avis rendus par le groupe permanent « réacteurs » dans le cadre de l'évaluation de sûreté n'ont pu que profiter de l'expérience du terrain.

1.1.2 Le groupe permanent « réacteurs » s'est penché plusieurs fois sur le contenu de la réforme

Comme il est normal pour un dossier de sûreté important, le directeur de la DSIN a demandé au groupe permanent compétent — à savoir le groupe « réacteur » — de se prononcer sur le bien-fondé des options proposées par l'exploitant et de soumettre son avis à l'autorité réglementaire. Au titre de la réforme de la maintenance prise au sens strict, le groupe permanent a examiné trois dossiers.

Par lettre du 3 octobre 1990, le directeur de la DSIN a demandé au président du groupe permanent de faire examiner par celui-ci les progrès dans le domaine de la sûreté entraînés par les dispositions prises ou envisagées par EDF au cours de l'année 1991 et de lui faire part des recommandations du groupe permanent. Celui-ci s'est réuni les 8 et 12 novembre 1990 et a entendu les exposés de l'exploitant et du DAS ⁽⁵³⁾ (rapport DAS n° 737) sur les mesures compensatoires proposées par les sites pour les arrêts de tranche 1990 ainsi que le programme d'actions à plus long terme présenté par le Service de la Production thermique.

Par lettre du 27 janvier 1992, le directeur de la DSIN a demandé au président du groupe permanent de faire examiner par celui-ci les progrès apportés dans le domaine de la sûreté entraînés par les dispositions prises ou envisagées par EDF dans le cadre des mesures compensatoires mises en place à partir des arrêts de tranche 1990 et envisagées dans les plans d'actions élaborés à la suite des conclusions du rapport NOC. Le groupe permanent s'est réuni le 20 février 1992 et a pris connaissance du rapport DES n° 69 de l'IPSN et des arguments de l'exploitant.

⁵³ Département d'analyse de sûreté, prédécesseur du DES (Département d'évaluation de sûreté).

Le groupe permanent s'est également réuni en septembre 1994 pour examiner la politique EDF de recours aux prestataires et ses répercussions sur la sûreté des installations. Il a appuyé ses analyses sur le rapport DES n° 193.

Il faut enfin noter que le groupe permanent est amené à prendre connaissance de façon indirecte de certains points « techniques » impliqués dans la réforme de la maintenance, à travers l'exercice triennal de retour d'expérience sur le parc EDF. L'IPSN effectue en effet tous les 3 ans un examen général des enseignements que l'on peut tirer de l'exploitation des réacteurs sur la période écoulée. Cet examen est présenté et discuté en groupe permanent réacteurs et peut donner lieu à des demandes de la DSIN vis-à-vis de l'exploitant. La dernière édition de cet exercice, que M. JOREL, adjoint au chef du DES, m'a dit être très lourd en termes de ressources humaines et de temps, a eu lieu en octobre 1995. Sur la base du rapport DES n° 194, le groupe permanent réacteur a été amené à s'intéresser à la sûreté des opérations de redémarrage, thème intimement lié à la qualité des opérations de maintenance.

C'est sur la base des avis et recommandations du groupe permanent, ainsi que de ses propres évaluations et appréciations, que la DSIN a été amenée à formuler ses exigences vis-à-vis de la qualité de la maintenance à EDF, au plan de la sûreté.

1.2 La DSIN maintient une vigilance constante sur l'état d'avancement de la réforme

1.2.1 La DSIN a surveillé le processus de mise en place de la démarche

Initiateur partiel de la réforme de la maintenance à travers les demandes formulées par les ministres, la DSIN a sollicité EDF par de nombreux courriers, portant tant sur l'avancement global de la démarche que sur certains points particuliers. Pour la démarche prise dans sa globalité on peut citer en particulier :

- le courrier DSIN 321/93 du 23 février 1993 dans lequel la DSIN formule des demandes concernant : 1/ le suivi des actions des sites par les services centraux (organisation et moyens des services centraux, bilan à fin 1992 de leurs actions et réflexions) ; 2/ la liste des matériels les plus sensibles et des opérations jugées les plus délicates, les mesures prises pour s'affranchir des risques qu'ils représentent ; 3/ la réduction des interventions simultanées sur les matériels redondants ; 4/ les essais de requalification (présence d'équipes permanentes, au sein des services centraux comme des ingénieries de sites, responsables de l'ensemble des essais) ; 5/ le contrôle du lignage des capteurs ; 6/ la gestion des DMP (réduction de leur nombre, amélioration de leur détectabilité, gestion physique) ; 7/ la surveillance des prestataires ; 8/ la réalisation d'actions de maintenance sur des matériels IPS simultanément requis par les STE ; par un courrier du 26 mars 1993, EDF informe la DSIN que les travaux lancés dans le cadre des trois démarches d'amélioration de la sûreté (Conduite, Maintenance, MCP/Ingénieries de sites) lui seront présentés fin 1993 ;
- le courrier DSIN 278/95 du 6 juillet 1995 dans lequel la DSIN précise que, à sa connaissance, EDF n'a pas répondu sur le fond à son courrier de 1993 ; la

DSIN demande alors à EDF de préciser sous 3 mois : 1/ l'état d'avancement de la réforme sur les sites à la fin de l'année 1994 2/ l'évaluation des effets de la réforme ; 3/ l'échéancier de la mise en place définitive de la réforme sur les sites ; 4/ les dispositions prises sur le parc en exploitation afin de veiller à la pérennité de la réforme ; l'annexe de la lettre liste des constats faits lors des visites de surveillance ; la DSIN demande à EDF de lui présenter sous 3 mois le bilan détaillé de l'action des sites concernant : les MSQ, la démarche PQS, les DMP, les requalifications, la vérification du caractère opérationnel des capteurs ; d'une manière générale, la DSIN considère que le pilotage de la réforme et le contrôle de son avancement doivent être renforcés ; elle demande à EDF de lui faire part sous 3 mois des actions menées en ce sens ; enfin la DSIN indique n'avoir pas reçu de réponse à un courrier du 3 mars 1995 concernant la politique des prestataires, pour lequel les réponses étaient demandées sous 3 mois ; par un courrier du 25 octobre 1995, EDF donne un état de la situation globale du parc à fin 1994 et précise les dernières dispositions retenues par la direction du parc pour renforcer le pilotage ; EDF répond également aux constats relatifs aux 5 thèmes évoqués dans le courrier de la DSIN ; en complément le directeur délégué de l'EPN demande à chaque directeur de CNPE de faire parvenir à sa DRIRE avant fin 1995 un état d'avancement de son site pour les 5 thèmes de la démarche Sécurité-Maintenance évoqués dans le courrier de la DSIN.

Les demandes de la DSIN ont également porté sur certains points plus précis inclus dans ou liés à la réforme de la maintenance : mesures concrètes prises par les sites pour mettre en place les COMSAT (janvier 1991), obligation de déclarer à l'autorité certains incidents dus à des DMP (janvier 1991), vérification obligatoire de l'existence d'une gamme d'intervention pour toute intervention sur du matériel IPS (octobre 1990), dispositions visant à garantir la sûreté des opérations de redémarrage (janvier 1991, août 1991), requalifications (décembre 1990). Signalons également quelques courriers plus récents :

- le courrier DSIN 85/95 du 3 mars 1995 relatif aux nouvelles orientations d'EDF vis-à-vis de ses prestataires, complété par un courrier DSIN 472/95 du 14 décembre 1995 motivé par le fait que le dossier présenté en réponse par EDF *"ne répond pas de manière satisfaisante"* aux demandes précédentes de la DSIN *"et qu'il devrait être complété sur des points importants"* ; la DSIN demande alors à EDF des précisions sur : 1/ les actions prescriptives du Parc et les actions laissées à l'appréciation des sites ; 2/ les priorités fixées par l'EPN vis-à-vis des prestataires ; 3/ sous un mois, un échéancier portant sur les actions prévues dans le cadre de la démarche Prestataires ; 4/ sous un mois, une synthèse des visites sur sites effectuées par l'Inspection nucléaire, sur le thème « prestataires » ; 5/ les méthodes et moyens de l'EPN pour assurer le « contrôle stratégique » de la politique Prestataires et un premier bilan ; 6/ un réexamen de la pertinence de l'emploi de prestataires à des postes permanents *"qui concourent à la sûreté de façon directe"* ; 7/ les actions mises en oeuvre pour s'assurer que la durée et les rythmes de travail des prestataires *"restent dans des limites acceptables"* ; 8/ des questions complémentaires posées en

annexe ; dans son courrier du 9 mai 1996, EDF apporte ses réponses, accompagnées en annexe de la note NTAQ/22/95/3282 de l'UTO concernant les *"prescriptions applicables aux fournisseurs et prestataires des centrales nucléaires d'EDF"*, la directive DI 53 sur la qualification des prestataires, la synthèse (quatre pages très synthétiques...) établie par l'Inspection nucléaire ;

- le courrier DSIN 452/95 du 30 novembre 1995 relatif à *"la contribution du facteur humain à la sûreté de l'exploitation"*, dans lequel la DSIN estime que *"vous partagez mon souci de mieux prendre en compte la contribution des individus à la sûreté de vos installations"* mais que *"les initiatives de votre établissement en la matière sont encore balbutiantes et peu coordonnées"* ; la DSIN demande à EDF de s'engager, sous six mois, sur la réalisation d'actions *"concrètes et planifiées"* portant sur : 1/ la prise en compte de l'ergonomie dans la conception et l'exploitation des installations ; 2/ le rôle des procédures par rapport au savoir-faire ; 3/ la politique de formation ; 4/ la rigueur dans la réalisation et le contrôle des actions touchant à la sûreté des installations, en particulier l'arbitrage entre sûreté et disponibilité ; 5/ la communication interne ; 6/ l'analyse approfondie du retour d'expérience ; 7/ sous trois mois, un bilan des statistiques sur la fiabilité humaine, concernant tant l'industrie nucléaire que les autres industries et les enseignements qui peuvent en être tirés par EDF ; par ailleurs diverses demandes ponctuelles, liées aux constats effectués lors des visites de surveillance et justifiant les demandes générales évoquées plus haut, sont jointes en annexe ; la réponse d'EDF, datée du 28 juin 1996, met en avant la nécessité de *"travailler à partir d'une approche globale du retour d'expérience"* et de limiter les actions ponctuelles *"aux situations graves dont le caractère reste exceptionnel"* ; EDF identifie trois *"voies de progrès"* : l'interface homme-machine, la formation, l'évolution des méthodes de travail, de l'implication et du comportement des acteurs à tous les niveaux ; ces deux derniers thèmes sont largement mis à contribution dans la démarche Sûreté-Maintenance.

Il est particulièrement satisfaisant, pour le rapporteur de l'Office parlementaire chargé d'effectuer un « contrôle du contrôle », de voir que l'intervention de l'autorité de sûreté s'est exercée de façon constante et ferme, même si deux ans se sont écoulés entre le premier courrier cité et la « piqûre de rappel » de 1995.

Parallèlement à ce contrôle central, la DSIN s'est appliquée à vérifier sur le terrain, par l'intermédiaire des DRIRE compétentes, les conditions de mise en oeuvre et de succès des divers éléments de la réforme.

1.2.2 La DSIN a adapté le cadre des inspections pratiquées par les DRIRE

La DSIN a constitué en 1993 un groupe de travail pour faire le point sur 5 thèmes jugés particulièrement sensibles : le rôle des MSQ dans la réforme de la maintenance, la démarche Qualité-Sûreté, la gestion des DMP, les requalifications, le contrôle du caractère opérationnel des capteurs. Rassemblant des membres de la DSIN et des DRIRE, ce groupe s'est régulièrement réuni et a effectué une synthèse de l'ensemble des

constats effectués en inspection sur site pendant les années 1993-1995. La DSIN a utilisé cette synthèse dans le courrier du 6 juillet 1995 précité.

Par ailleurs le groupe de travail a estimé que, au vu de l'expérience de tous ses membres, la DSIN et ses relais régionaux manquaient d'un référentiel de surveillance adapté aux enjeux de la réforme de la maintenance. Le groupe a conclu qu'il convenait d'élaborer un guide des visites de surveillance, pour chacun des thèmes visés, destiné à renforcer la rigueur de l'action de l'autorité de sûreté sur le terrain.

Ces 5 nouveaux guides sont venus compléter ou modifier les guides existant déjà. La DSIN utilise au total 20 guides pour ses visites de surveillance, couvrant une partie des critères d'évaluation de sûreté pour les installations nucléaires : démarche de l'inspecteur, plan d'urgence interne, essais périodiques, grands froids, déchets, criticité, assurance qualité, requalifications, formation, surveillance des prestataires, combustible, traitement des écarts, MSQ, organisation des arrêts de tranche, DMP, plans Qualité-Sûreté, archivage, gestion des consignations, visites de surveillance en arrêt de tranche, protection incendie.

Cette démarche me paraît tout à fait essentielle. Elle rejoint celle que j'ai pu constater en Suède, où le SKI, autorité de sûreté, m'a remis un exemplaire d'un Guide d'inspection pour la maintenance.

Aux dires de J.M. SIMON, chef de la Division des installations nucléaires de la DRIRE Rhône Alpes, les guides ne sont pas une *check list*. Ils apportent essentiellement des explications et des méthodes pour évaluer la façon dont l'exploitant s'y prend pour assurer et garantir la sûreté dans le domaine couvert par le guide. En conséquence le guide n'est pas non plus un document qu'il faut suivre obligatoirement ; d'ailleurs les visites de surveillance ne durent qu'une journée et ne permettraient pas de balayer l'ensemble du contenu des guides.

Les guides sont rédigés sous assurance qualité (rédacteur, vérificateur, approbateur) par un inspecteur *"très aguerrri"*. La DSIN (et plus particulièrement sa 4^{ème} sous-direction) est chargée de les faire « vivre », c'est-à-dire d'en assurer le suivi et de veiller à leur évolution, en adéquation avec les besoins manifestés par les inspections sur site. Un guide est refondu en moyenne tous les 5 ans, en intégrant les résultats issus des visites de surveillance.

Lorsque je lui ai demandé si les guides DSIN et les référentiels d'évaluation utilisés par l'Inspection nucléaire d'EDF se recouvraient, J.M. SIMON a tout de suite tenu à rappeler que les deux entités ont développé séparément leur propre référentiel, et qu'elles l'appliquent également de façon indépendante et sans concertation. *"L'exploitant ne manque d'ailleurs pas de rappeler qu'il est soumis à de multiples évaluations, venant de la DRIRE, de l'Inspection nucléaire, des peer reviews, des OSART conduits par l'AIEA, etc. Il souhaiterait parfois une « coordination » — c'est-à-dire une confusion — de certaines de ces évaluations. Mais les regards doivent rester différents."* Sur le fond de ma question J.M. SIMON estimait au demeurant que les critères d'évaluation se recoupaient fréquemment. Cela ne me paraît pas anormal, bien au contraire.

L'adaptation de l'autorité de sûreté, traduite dans l'élaboration de nouveaux guides d'inspection, va de pair avec le caractère progressif de l'introduction de la réforme chez EDF.

2. UNE MONTEE EN PUISSANCE PROGRESSIVE POUR LA DEMARCHE SURETE-MAINTENANCE

2.1 La démarche Sûreté-Maintenance a subi quelques inflexions au niveau du Parc

Lorsque j'ai repris au début de 1996 le dossier de la réforme de la maintenance, j'ai été surpris par la difficulté de cerner rapidement et avec précision les contours de la démarche Sûreté-Maintenance. Il est vrai que, en l'absence de fil directeur clair, la compréhension de cet ensemble complexe de mesures et d'actions avait de quoi dérouter...

2.1.1 Le discours de la direction s'est structuré peu à peu

Cette impression de flou n'avait pas été levée par l'examen des rapports annuels de l'Exploitation du Parc nucléaire, ni par ceux établis, dans le domaine plus spécifique de la sûreté, par le Département Sûreté nucléaire de l'EPN (les *Bilans de la Sûreté nucléaire en Exploitation*, déjà largement mis à contribution dans ce rapport).

En ouvrant les cinq rapports publiés par l'EPN depuis sa création en 1992, on constate en effet une grande diversité d'approches :

- dans le rapport 1992, l'accent est mis sur le lancement d'une *"politique vis-à-vis des prestataires"* et sur la concrétisation des engagements contenus dans les plans d'action des sites élaborés en 1991 ; ces engagements concernent *"les comportements individuels et collectifs, la technique, l'organisation et les méthodes"* ; les domaines mis en avant sont la création des ingénieries de sites, l'Institut de formation à la Maintenance, le perfectionnement de l'analyse de risques, l'organisation par affaires et les essais de requalification ;
- en 1993 *"quatre thèmes principaux"* sont mis en avant : le développement du professionnalisme, la responsabilisation avec une moindre parcellisation des tâches, le développement de la fonction de contrôle, l'accroissement des capacités d'analyse et d'ingénierie sur les sites ; le partenariat avec les prestataires obtient droit de cité dans le rapport de l'EPN ; les *"comportements individuels et collectifs"*, la *"technique"*, *"l'organisation et les méthodes"* cités dans le précédent rapport deviennent des *"axes de progrès"* ;
- le rapport 1994 présente pour sa part les *"objectifs"* de la démarche Sûreté-Maintenance : *"mieux intégrer la sûreté dans les activités de maintenance, en particulier pendant l'arrêt de tranche, maîtriser la qualité des interventions, optimiser le contenu des arrêts"* ; le thème de la maîtrise d'ouvrage apparaît, puisque *"les objectifs de la démarche exigent la fin de la parcellisation des*

tâches et davantage de contrôle et de maîtrise d'ouvrage ; le thème du « projet » d'arrêt est annoncé pour 1995 ;

- avec quatre *"thèmes"*, trois *"objectifs"* et trois ou quatre *"engagements"* devenus des *"axes de progrès"* la situation devenait passablement compliquée pour le profane que j'étais ! c'est en 1995 qu'apparaît enfin le triptyque salvateur : renforcement de la maîtrise d'ouvrage - partenariat avec les prestataires - maîtrise des arrêts de tranche, autour duquel s'ordonnent désormais comme par enchantement toutes les actions engagées dans le cadre de la démarche Sûreté-Maintenance ;
- la présentation des démarches disparaît complètement du rapport 1996, paru il y a quelques jours, au profit d'une présentation thématique transverse aux démarches : ressources humaines, sécurité-radioprotection, sûreté, production, disponibilité, compétitivité, environnement, système d'information, communication.

En ce sens l'évolution du discours tenu par la Direction du Parc rejoint une appréciation formulée par C. FRANTZEN lors de notre entretien du 17 juillet 1996. Pour l'Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire, *"la démarche Sûreté-Maintenance a deux aspects complémentaires : elle est d'une part un concept « fourre-tout » sur lequel l'EPN « enfile » des actions ponctuelles ; certaines sont des évolutions de fond (mutation des métiers...) d'autres sont ultra-ponctuelles (préparation par les MCP de guides destinés aux sites...). Elle est aussi organisée autour de plusieurs points forts auxquels sont accrochés des objectifs définis : des gains sensibles en matière de sûreté-qualité ; une nouvelle réflexion sur les modes de maintenance ; une réduction des coûts."*

La difficulté à percevoir un fil directeur a dû être largement ressentie car lors de la réunion de travail tenue à la DRIRE Rhône Alpes en novembre dernier, les participants ont d'abord évoqué la démarche Sûreté-Maintenance par les « 13 volets » des actions lancées à partir de 1990. Je dois indiquer aussi que jamais dans les échanges mes interlocuteurs de l'autorité de sûreté n'ont utilisé le triptyque recentrage sur la maîtrise d'ouvrage - politique prestataires - maîtrise des arrêts de tranche. Mais il s'agit là certainement d'une « pudeur » naturelle de l'autorité de sûreté, qui peut répugner à utiliser tel quel le langage parfois managérial de l'exploitant.

Car en soi l'absence de fil directeur organisant globalement la présentation ou l'affichage de la démarche Sûreté-Maintenance a peu d'impact sur les mesures concrètes qui y sont associées. Il me semble cependant que la structuration du discours a une certaine importance. Dans une réforme qui est essentiellement une réforme des organisations et des modes de management, il me paraît intéressant que les messages soient ordonnés autour de lignes directrices fortes, afin de « donner le nord » aux cadres chargés de décliner la réforme sur le terrain tout en alimentant les politiques centrales par le retour d'expérience. Le triptyque que j'évoquais à l'instant a en ce sens une indéniable vertu clarificatrice. De façon indirecte j'en conviens, il peut contribuer à une plus grande efficacité du dispositif global.

Comme doit y contribuer aussi, beaucoup plus fortement assurément, le renforcement du pilotage de la démarche, d'ailleurs demandé par la DSIN.

2.1.2 La nécessité d'un pilotage renforcé s'est imposée

La direction de l'EPN a senti assez tôt la nécessité de renforcer le pilotage des démarches, et au premier chef de la démarche Sûreté-Maintenance. Celles-ci sont nées progressivement de 1990 à 1992 et ont été conduites *"avec beaucoup de pragmatisme jusqu'en 1994"* selon les termes employés le 20 novembre par B. DUPRAZ. Confrontés à une multitude de demandes, de réformes et d'évolutions sur lesquels ils ressentaient avoir peu de prise, les sites ont alors demandé *"plus de visibilité sur la « nervuration » nationale des démarches"*. L'EPN a conduit un *"travail de recadrage"* à partir du début de 1995, conclu par le « projet du Parc » 1996-2000 qui définit des objectifs et les moyens de les atteindre.

Dans ce langage inimitable du management, l'EPN m'a expliqué que le projet du Parc *"se traduit par [...] un mode de gouvernement reposant sur la décentralisation dans la cohérence par les six démarches, dont la démarche Sûreté-Maintenance. Les sites élaborent un plan stratégique d'unité dans le cadre de ce projet. [...] La démarche Sûreté-Maintenance est un levier fondamental de cohérence pour mener à bien les évolutions indispensables à l'atteinte des objectifs de sûreté de l'EPN."* Les objectifs de la démarche Sûreté-Maintenance sont alors explicités à nouveau ; elle a pour finalité de :

- "— maîtriser en toute sûreté, sur le long terme (40 ans), l'outil de production nucléaire ;"*
- "— optimiser les activités de maintenance sous toutes ses composantes, notamment la sûreté ;"*
- "— positionner la maintenance au service du process, en partenariat avec la conduite."*

Les actions engagées par le Parc dans le cadre de la démarche se regroupent autour de quatre points clefs : maîtriser la sûreté des activités de maintenance, se recentrer sur la maîtrise d'ouvrage, développer une politique de partenariat avec les prestataires, réussir les arrêts de tranche. On se rend compte en fait que les actions rassemblées sous le chapeau « maîtriser la sûreté des activités de maintenance » pourraient être réparties sous les trois autres : *"renforcer et pérenniser l'intégration de la sûreté dans les activités de maintenance"* est un objectif global ; *"augmenter la capacité d'analyse de sites, notamment par la mise en place des ingénieries"* relève du renforcement de la maîtrise d'ouvrage ; *"responsabiliser les acteurs, en clarifiant les pouvoirs et en améliorant la délégation"* peut être classé dans la maîtrise des arrêts, tout comme *"déparcelliser les activités de maintenance et mieux gérer les interfaces"* ; *"augmenter le niveau de connaissances générales des acteurs de la maintenance"* est effectivement un objectif assez transverse, qui peut cependant sans problème passer sous la coupe de la réussite des arrêts. Il est vrai aussi que la maintenance ne se réduit pas à l'arrêt de tranche.

Plus intéressant au niveau du pilotage — et répondant d'ailleurs certainement mieux à la demande explicitement formulée par la DSIN — l'EPN décide en 1994 de confier à une personne spécialement désignée au sein des MCP *"l'animation"* de la démarche. Cette animation repose sur la mise en réseau des sites, telle que je l'ai évoquée plus haut ; elle s'exerce de façon transverse au fonctionnement normal des MCP. L'animateur de la démarche présente des synthèses régulières à la direction du Parc et aux unités.

Par ailleurs chaque démarche, dont la démarche Sûreté-Maintenance, est désormais suivie par un membre du comité de direction de l'EPN. L'accord de ce responsable est nécessaire pour modifier les orientations de la démarche. L'animateur et le membre du comité de direction travaillent étroitement et discutent des synthèses et rapports d'étape. L'objectif est de voir ce qui nécessiterait de passer en comité de direction pour supprimer d'éventuels blocages.

Le pilotage s'est également renforcé au niveau des sites. Cependant, paradoxalement, certains sites se sont formellement « éloignés » des démarches : C. DUSSAUX, chef de la MSQ de Saint Alban, disait ainsi que *"les démarches ne sont plus une fin en soi. Leur suivi n'est plus effectué par des structures spécifiques mais par des membres du comité de direction du site. Un point est effectué lors de la réunion mensuelle avec les chefs de service. L'avancement des démarches est évoqué une fois par trimestre en réunion du comité de direction du site. En fait on a passé le cap de la mise en route : la démarche reste aujourd'hui une grille de suivi à l'aune de laquelle s'ordonnent les actions engagées sur le site."*

Ces propos ont été confirmés au niveau du parc par D. CANGINI, animateur de la démarche. Le diagnostic que portent les sites sur l'état d'avancement des démarches ainsi que les actions correspondantes sont aujourd'hui cadencés par les Plans stratégiques d'Unités tous les 3-4 ans. Ces plans prennent en compte les 6 démarches mais ne sont pas formellement calqués sur elles. Parallèlement, au niveau central, la direction de l'EPN et les MCP se réservent la possibilité de juger de la pertinence des plans stratégiques d'unités au regard de l'une ou l'autre des démarches qui doivent guider l'évolution du Parc. *"C'est une matrice à deux entrées"* m'a dit pour résumer D. CANGINI.

L'intégration aujourd'hui des démarches dans les plans stratégiques des sites est en fait l'aboutissement d'un processus beaucoup plus long.

2.2 La réalisation des plans d'action sur les sites a demandé du temps

Menée dès le début avec un fort volontarisme, l'intégration de la démarche Sûreté-Maintenance a cependant été conduite selon des rythmes de progrès contrastés.

2.2.1 La mise en place de la démarche s'est faite avec détermination

Dès l'origine, le lancement de la démarche Sûreté-Maintenance est placé sous le signe de l'ambiguïté. Un contrôle et une évaluation de cette mise en place ont été effectués par l'Inspection nucléaire, dont les effectifs ont été accrus pour l'occasion (et le sont restés depuis). L'Inspection nucléaire pouvait estimer dans son *Bilan des actions de*

surveillance pour l'année 1990 : "toutes les centrales ont bien pris conscience des progrès à réaliser et cette prise de conscience est très perceptible à tous les niveaux. L'Inspection a constaté une réelle détermination des exploitants pour l'obtention des objectifs définis par la direction du service."

Pour sa part l'autorité de sûreté jugeait insuffisant l'avancement des mesures compensatoires à la fin de l'année 1990. L'Inspection nucléaire relevait pourtant une nette accélération dans l'application de ces mesures par l'ensemble des centrales entre le début et la fin de l'année. Les sites les mieux placés appliquaient les mesures compensatoires à 75%. De même, la progression de la démarche Sûreté-Maintenance, qui devait déboucher en premier lieu sur la mise au point des plans d'action des sites, apparaissait à l'Inspection nucléaire comme *"plus sensible vers la fin de l'année."*

Si 1992 semble avoir été une année « terne », 1993 est l'objet d'un satisfecit global décerné au Parc par l'Inspection nucléaire : *"le bilan à la fin 1993 montre qu'au bout de trois ans de mise en oeuvre, la démarche Sûreté-Maintenance est une réussite au niveau de l'avancement des actions du plan NOC. L'année 1993 apparaît comme une année de consolidation à l'exception des sites qui n'ont pas figé leurs organisations."* Cependant la nuance vient immédiatement : *"Il faut bien se garder de considérer les résultats comme définitivement acquis."*

Une part de l'ambiguïté que j'évoquais il y a peu devrait être levée en se souvenant que l'effort d'amélioration de la qualité de la maintenance a été demandé alors même que la plupart des sites étaient encore en train d'engager ou de terminer la mise en place de l'application SYGMA. Les sites se sont alors trouvés face à deux impulsions contradictoires :

- une « saturation » des actions menées, surtout pour ceux qui étaient encore sous le « choc informatique » lié à l'introduction de SYGMA ;
- une belle opportunité de profiter des réflexions et évolutions commandées par SYGMA pour transformer sur le fond l'ensemble de l'organisation de la maintenance.

On devine que la vigueur comme la pertinence de l'engagement des sites dans ce nouveau défi qui leur était proposé ont pu être ressenties de façon variable suivant les contextes locaux, SYGMA pouvant jouer à la fois le rôle d'un frein et d'un catalyseur. Rien d'étonnant alors à ce que les rythmes de progrès de la démarche aient été assez contrastés.

2.2.2 Les rythmes de progrès ont cependant été contrastés

Les disparités d'avancement se sont manifestées très tôt entre les sites. En effet certains avaient déjà expérimenté ou mis en oeuvre à titre de politique locale quelques unes des mesures préconisées par le rapport NOC ou reprises dans les mesures compensatoires : l'institution de contrôleurs de travaux pour l'un, une vérification sérieuse de la connaissance par les prestataires des exigences de l'arrêté Qualité de 1984 pour l'autre, etc. Les participants n'étaient donc pas tous sur la même ligne de départ.

Plus largement les contrastes dans le rythme d'avancement de la démarche ressortissent à plusieurs dimensions :

- la dimension géographique pure : plusieurs de mes interlocuteurs ont mentionné l'existence de « traditions d'innovation » sur certains sites, généralement plus réactifs que d'autres aux demandes qui leur sont adressées ; ces sites joueraient souvent aussi un rôle de pilote pour le parc, appliquant avant l'heure et affinant pour le compte de tous des concepts jugés prometteurs ;
- la dimension géographique couplée à l'évolution chronologique : l'examen de divers documents internes à EDF qu'a bien voulu me transmettre l'Inspection nucléaire montre parfois qu'un site qui était en avance ou dans le peloton de tête pour certains critères d'évaluation une année se retrouve dans une position moins favorable lors de l'évaluation suivante, et réciproquement ; au demeurant l'Inspection nucléaire notait dès 1992 une forte tendance à l'homogénéisation globale des performances des sites au regard des critères d'évaluation ;
- la dimension chronologique seule : sur l'ensemble du parc, les différentes mesures ont eu des évolutions parfois sensiblement différentes ; par exemple, alors que l'Inspection nucléaire estimait au 1^{er} semestre 1991 que la gestion des DMP faisait partie des *"points à améliorer"*, elle la rangeait au 2^{ème} semestre de la même année dans les *"domaines où des progrès sensibles ont été constatés"* ;

De façon générale, l'Inspection nucléaire faisait très tôt remarquer que la mise en oeuvre de certaines actions sur les sites avait été handicapée par un manque de doctrine, qui avait conduit les centrales à se tourner vers les Moyens centraux du Parc pour obtenir un soutien et un éclairage sur les souhaits de la direction. Les domaines les plus concernés étaient en particulier le contrôle des prestataires disposant de leur propre système qualité, le traitement des anomalies, l'analyse en ligne des rapports de fin d'intervention, l'organisation des commissions de redémarrage (COMSAT), etc.

Puis, vers 1992, l'Inspection nucléaire constatait que certains domaines étaient en cours de consolidation : le niveau de qualité progressait de façon satisfaisante depuis 1991 et les dispositions prises par les exploitants locaux étaient susceptibles d'aboutir très vraisemblablement dans les délais prévus. A l'inverse, d'autres domaines voyaient des améliorations limitées ou peu sensibles : il s'agissait des domaines où les progrès avaient été les plus importants, sur la partie la plus « facile », mais où les sites butaient désormais sur des problèmes de fond.

Pareillement l'Inspection nucléaire identifiait quatre domaines nécessitant une action d'analyse de retour d'expérience, indispensable selon elle pour dégager de nouvelles voies de progrès pour le niveau de sûreté et de qualité visé par le rapport NOC : la démarche Qualité-Sûreté, la gestion des DMP, les requalifications, la planification des activités. Suite à l'avis émis par l'Inspection nucléaire, la direction de l'EPN prenait alors la décision de créer 4 groupes de travail nationaux, avec une forte participation des sites. Les groupes de travail avaient vocation à effectuer le retour

d'expérience du parc, à clarifier les doctrines et à mettre au point des documents « pédagogiques » expliquant aux sites les nouvelles orientations de progrès. Ces groupes de travail ont remis leurs conclusions au Comité de Sécurité nucléaire en Exploitation en octobre-novembre 1993. Certaines de ces conclusions se sont traduites dans des documents de doctrine intégrés à la vulgate officielle de l'EPN et accompagnés de guides explicatifs adaptés (DI 74 sur les DMP, DI 76 sur les requalifications, etc.).

On voit que l'avancement de la démarche Sécurité-Maintenance a résulté d'un balancement subtil entre les actions conduites sur les sites, les réflexions conduites dans les MCP, les demandes et interrogations qui se sont faites jour dans la pratique quotidienne de la sûreté sur le terrain et les éléments de doctrine qui se sont affinés avec le temps. Ce processus est-il achevé ou en voie de l'être ? La démarche Sécurité-Maintenance n'est-elle pas condamnée à perdurer au-delà de ce qui aurait dû être son terme normal ?

La démarche Sécurité-Maintenance est-elle un objectif ou un état d'esprit ?

3. REFORME INACHEVEE OU DEMARCHE ETERNELLE ?

Un point m'avait frappé lorsque j'ai repris le dossier de la réforme de la maintenance : l'impression que l'on parlait parfois aujourd'hui de certains objectifs comme on en avait parlé déjà en 1990, au lancement de la réforme. J'avais du mal à percevoir ce qui était sous-jacent à cette permanence apparente : réhabillage sous des dehors nouveaux d'échecs patents dans la mise en place de la réforme ? simple inflexibilité de mesures bonnes dans leur principe mais longues à appliquer ? Était-ce à dire que la réforme n'avait pas encore produit d'effet réellement observable ?

Il est vrai que les résultats concrets de la réforme de la maintenance restent encore assez insaisissables. Tout d'abord parce que certains points « techniques » nécessitent de maintenir un effort spécifique ; pareillement la protection radiologique des travailleurs, et au premier chef celle des travailleurs extérieurs, reste un sujet très sensible — j'y consacre d'ailleurs un chapitre spécifique dans ce rapport. Enfin la dimension culturelle de la démarche n'a peut-être pas été perçue dès l'origine dans toute son ampleur.

3.1 Les résultats de la démarche Sécurité-Maintenance sont encore insaisissables

3.1.1 Les critères d'appréciation sont peu évidents

Il est assez difficile de trouver des critères et indicateurs pertinents pour mesurer les résultats d'une réforme d'organisation et de management comme celle qui nous intéresse ici. Il est clair cependant — et la plupart de mes interlocuteurs sont tombés d'accord là dessus — que l'apport « qualitatif » de la démarche Sécurité-Maintenance est indéniable : meilleure sensibilisation aux questions de sûreté chez les prestataires, amélioration de la capacité de réaction des sites et de l'exploitant en général, diffusion de la culture de sûreté chez les agents de maintenance, amélioration du niveau général de connaissance chez les personnels, etc.

En termes quantitatifs en revanche, les indicateurs très globaux sont par nature impuissants à tracer l'impact de la seule réforme de la maintenance : disponibilité, nombre d'incidents significatifs, nombre d'incidents classés, arrêts automatiques et non programmés des réacteurs, etc. Concluant un exposé effectué dans le cadre de notre réunion de travail du 7 novembre 1996 à l'IPSN, C. AUFORT m'indiquait également que *"le DES ne sait pas mesurer globalement le progrès, au regard de la sûreté, obtenu par la réforme."* Comment peut-on effectivement « mesurer » le professionnalisme des agents, par exemple ? Par les heures de formation ? ce serait raisonner dans une optique de moyens et non de résultats. Comment « mesurer » directement de façon objective la qualité réelle des PdQ et des documents de surveillance ? comment mesurer directement la réussite du positionnement d'un chargé d'affaires ?

Force est de se reporter sur une analyse fine des incidents, en analysant leur répartition en fonction de certains critères représentatifs des points sensibles de la maintenance.

3.1.2 EDF estime que la réforme de la maintenance a conduit à une amélioration sensible de la sûreté

Précisant à la DSIN l'état de la réforme de la maintenance à fin 1994, EDF estimait que depuis le début de sa mise en oeuvre en 1990, la démarche Sûreté-Maintenance issue du rapport NOC a *"développé une dynamique de progrès sur l'ensemble du Parc."* Les efforts réalisés par les sites aboutissent à des progrès incontestables qu'EDF tend à caractériser par :

- une amélioration globale de la maîtrise des activités de maintenance qui se traduit par le constat d'une baisse du nombre des incidents significatifs imputables à la maintenance : 200 IS par an à mi-92, 150 IS par an à fin septembre 1994, soit une diminution de 25% ; ceci est accompagné, selon EDF, d'une baisse très importante des incidents significatifs uniquement attribués à des défaillances de matériel ;
- des progrès sensibles obtenus sur la préparation des activités, l'amélioration du professionnalisme (qualité des analyses techniques, qualité du contrôle, conduite de l'intervention), la capacité de détection et de traitement des écarts, et sur certains points particuliers que sont les DMP et le caractère opérationnel des capteurs IPS ;
- une amélioration de la qualité des interventions de maintenance observée sur l'ensemble du parc, qui *"concrétise les actions engagées par le Parc auprès de ses prestataires"*.

Cette opinion favorable donnée par l'exploitant sur son bilan résulte d'une analyse des données incidentelles du parc REP portant sur la période 1991-1994. Cette étude, effectuée à partir des données incidentelles fournies par les CRIS (comptes rendus d'incidents significatifs) et SAPHIR présentait l'évolution des facteurs intervenant dans l'incident en les rapprochant des objectifs énoncés dans la démarche Sûreté-Maintenance.

Huit critères étaient utilisés pour caractériser les événements étudiés, répartis selon la chronologie de terrain :

- renforcement en amont de l'activité : qualité de la préparation, planification, documentation ;
- réalisation de l'activité : fiabilité humaine et professionnalisme, coordination et communication ;
- renforcement en aval de l'activité : qualité du contrôle, requalification, capacité de détection et de traitement des écarts.

Pour EDF l'examen des données incidentelles permet de dégager les tendances suivantes :

- des progrès sensibles ont été obtenus sur : la préparation des activités, la qualité de l'intervention, la capacité de détection et de traitement des écarts ;
- une tendance positive se dégage sur : la coordination des interventions (gestion des interfaces entre spécialités de maintenance différentes), le contrôle des activités ;
- une situation "*sans évolution nette*" mais concernant, par ordre d'importance croissante (fréquence d'apparition dans les incidents significatifs) : la qualité des requalifications, la documentation associée à l'intervention, la planification des activités.

Comme on pouvait le prévoir, l'autorité de sûreté comme son appui technique m'ont présenté une interprétation des faits moins optimiste.

3.1.3 L'IPSN a une opinion plus nuancée

L'IPSN ne nie pas l'effet potentiellement positif pour la sûreté des orientations retenues par la réforme de la maintenance. C'est plutôt au niveau de son appréciation quantitative que se situent les principales divergences avec EDF.

La confiance que l'on peut avoir dans le processus de caractérisation des événements selon leurs « causes profondes » dépend étroitement de la façon dont cette répartition est effectuée, des critères sur lesquels elle se fonde et des choix d'évaluation sous-jacents.

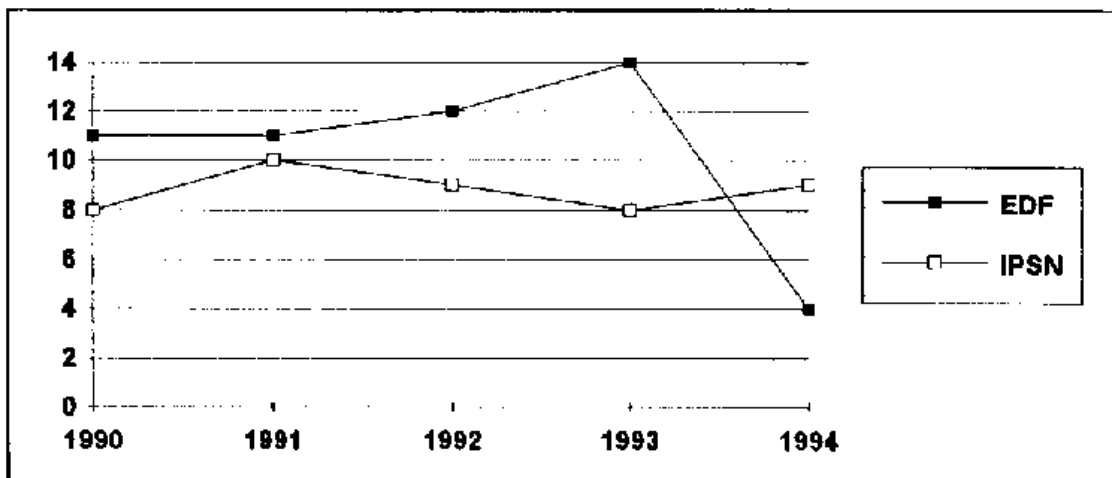
Lors de l'exercice triennal de retour d'expérience d'exploitation, le rapport DES n° 194 préparé par l'IPSN pour passage devant le groupe permanent consacre d'importants développements aux incidents provoqués par des DMP. La notion même d'« incident attribuable à un DMP » est utilisée différemment pour EDF et pour l'IPSN, à partir des mêmes sources, à savoir les déclarations de l'exploitant à l'autorité de sûreté. C'est bien la question de l'affectation des causes à l'événement qui est ici posée.

Pour la période 1990-1994, le décompte des incidents attribuables à des DMP est sensiblement différent entre EDF et l'IPSN. EDF considère en effet que ne doivent être retenus au titre des « incidents DMP » que les incidents correspondant strictement à l'une des quatre causes profondes couvertes par la mise en place des actions recommandées par les MCP aux sites au travers de la directive DI 74.

Dans ces conditions, EDF estime devoir juger de l'efficacité de sa politique en matière de DMP en évaluant rétrospectivement les incidents qui auraient pu être évités par l'application de la directive DI 74 si elle avait été disponible l'année considérée :

- EDF écarte trois des incidents retenus par l'IPSN au motif qu'ils sont liés à des erreurs humaines et des problèmes de coordination, alors que les lignes de défense mises en place avec la directive DI 74 et les autres actions d'accompagnement ne concernent pas ces aspects ;
- EDF ne retient pas non plus au titre des DMP l'un des incidents car le dispositif concerné était en place sur le matériel depuis la réalisation d'une modification (« mise en place de piquages renforcés »), c'est-à-dire depuis une date antérieure à la mise en application de la directive DI 74 et ne pouvait donc être évité par une bonne application de celle-ci ; de plus ce DMP n'entrait pas dans le cadre de l'Affaire Parc relative à la modification concernée, car il avait été mis en place à une date postérieure à celle de la fin du premier démarrage sur une portion de circuit non identifiée comme pouvant accueillir un filtre ; les lignes de défenses prônées dans le cadre de cette Affaire Parc étaient également « par définition » inopérantes ;
- la classification du dernier incident voit l'IPSN et EDF diverger sur la qualification du dispositif utilisé (goupille forçant le blocage d'une vanne en position ouverte) : EDF estime qu'il ne s'agit pas d'un DMP au sens strict mais d'un « dispositif de condamnation » prévu à la conception ; l'IPSN considère quant à lui que l'utilisation de ce dispositif alors que la vanne n'était plus sous la dépendance d'un régime de condamnation relève de la définition du DMP telle qu'elle est donnée par la DI 74.

Incidents attribuables à des DMP



L'IPSN justifie sa méthodologie de décompte par le fait que *"les documents de prescription du manuel de la qualité de l'EPN doivent prendre en compte les principes fondamentaux de l'assurance de la qualité, dont celui qui consiste à admettre que l'erreur est possible."* (54) *C'est ce principe qui amène à définir les procédures et les moyens à mettre en oeuvre pour réduire la probabilité d'occurrence de l'erreur, la détecter dans des délais adéquats et en limiter les conséquences. L'IPSN considère donc que les incidents liés à une erreur et mettant en jeu l'utilisation d'une modification temporaire de l'installation* (55) *montrent des lacunes du processus de l'assurance de la qualité pour ce thème."* On voit que l'IPSN raisonne comme si la notion de DMP n'était pas figée par l'analyse effectuée *a priori* (classement en MTI ou DMP) ; d'après ce que je comprends au contraire, pour l'Institut, la nature d'un dispositif MTI/DMP reste évolutive et dépendant de l'évolution constatée du système : survienne un événement porteur de conséquences pour la sûreté, le dispositif provisoire classé initialement MTI doit être reclassé DMP « par la force des choses » donc devra entrer dans le champ d'application de la DI 74 (56).

Alors que, sur la base des critères qu'elle a retenus, EDF peut effectivement recenser une réduction significative des incidents dus aux DMP depuis la mise en oeuvre de la directive DI 74, l'IPSN s'appuie sur son propre décompte et sa propre méthodologie pour estimer que *"le nombre d'incidents liés aux modifications temporaires de l'installation n'a pas évolué de façon notable au cours des quatre dernières années"* en ajoutant de façon incidente (si j'ose dire) que *"la baisse constatée sur 1994 par Électricité de France est peut-être influencée par l'évolution de la définition des DMP lors de la mise en application de la directive DI n° 74, laquelle réduit de facto le nombre de DMP."*

L'IPSN enfonce alors le clou : *"L'IPSN considère que le principe d'évaluation retenu par Électricité de France n'a de signification que si la directive concernée est reconnue adaptée au but visé. Pour l'instant il ne peut que permettre de mesurer son niveau d'application sur les sites, et non pas sa validité."* C'est bien à une critique de la notion administrative du DMP que se livre l'IPSN dans ce texte.

Face à la difficulté d'évaluer concrètement les effets de la démarche, on comprend mieux les précautions dont l'autorité de sûreté a voulu entourer son discours sur la démarche.

3.1.4 L'autorité de sûreté conserve une attitude prudente

Conformément à la tradition de prudence que l'on est en droit d'attendre d'une autorité de sûreté, la DSIN a « ajusté » progressivement l'opinion générale qu'elle porte sur l'efficacité de la démarche Sûreté-Maintenance. Dans son rapport annuel pour 1990, elle indiquait ainsi que *"de manière générale, ces différentes propositions [d'EDF]*

54 Texte en gras dans le rapport DES n°194.

55 Pour des précisions sur la notion de « modification temporaire de l'installation », voir le passage 3.2.1.

56 C'est en quelque sorte une vision « quantique » de la réalité : le dispositif provisoire est dans un « état » constitué par la superposition des « états » élémentaires MTI et DMP. Survienne un événement avec ou sans conséquence, l'indétermination est levée et le dispositif est observé dans l'un ou l'autre des deux « états » élémentaires. Le chat de Schrödinger se met au service de la sûreté nucléaire...

devraient contribuer à améliorer le niveau de sûreté des opérations de maintenance et des travaux qui y sont associés" (p. 72). La DSIN concluait enfin les passages consacrés à la réforme de la maintenance par l'appréciation suivante : *"Au-delà de ces premières actions, EDF a en 1990 défini une série de réformes destinées à améliorer en profondeur la qualité et la sûreté des opérations de maintenance. Ces actions ne devraient porter leurs fruits que dans plusieurs années. Incontestablement, certaines d'entre elles répondent aux interrogations contenues dans la lettre des ministres. Il est cependant trop tôt pour pouvoir se prononcer sur leur efficacité réelle"* (p. 73).

Ces mêmes phrases ont été reprises telles quelles dans le rapport 1991. La première notation véritablement positive est trouvée dans le rapport 1992 : *"De manière générale la démarche engagée, qui ne pourra porter tous ses fruits qu'à long terme, peut être jugée satisfaisante vis-à-vis de la sûreté. Ces deux dernières années ont ainsi vu la mise en oeuvre de mesures d'amélioration concrètes de la qualité de la maintenance sur tous les sites"* (p. 8). Si en 1993, la DSIN reprend le « chapeau » originel (*"de manière générale, ces différentes propositions devraient contribuer à améliorer le niveau de sûreté des opérations de maintenance"*), elle l'assortit d'un jugement encourageant : *"des améliorations ont été notées sur plusieurs points"* (p. 136) enfin *"la vérification de l'efficacité des réformes constitue un thème important d'inspection pour les inspecteurs de la DSIN et des DRIRE"* (p. 136), ce qui laisse suggérer que le principe de l'efficacité théorique de la réforme est acquis.

Même si en 1994 la DSIN estime que *"des progrès substantiels sont encore à faire"* sur trois thèmes, il apparaît que *"les inspections effectuées en 1994 confirment les améliorations observées par la DSIN en 1992 et 1993"* (p. 163). En revanche c'est plutôt sur les *"points encore déficients"* que met l'accent la DSIN en 1995, renversement de perspective qui doit être mis en parallèle avec le courrier adressé au mois de juillet à EDF, dont j'ai parlé plus haut. Lors de notre entretien du 16 juillet 1996, A.C. LACOSTE me faisait part de son appréciation globale à l'époque :

- EDF prend la question de la maintenance au sérieux et semble véritablement vouloir redonner une impulsion à la démarche Sûreté-Maintenance ;
- EDF a pris conscience qu'elle avait « laissé filer » pendant trop longtemps la maîtrise des prestataires, et suit ceux-ci de beaucoup plus près aujourd'hui ; EDF a pris conscience que le parc a besoin d'avoir des prestataires fiables.
- enfin, au plan du pilotage et de la politique de décentralisation en général, *"EDF fait souvent de beaux discours mais a parfois des difficultés à obtenir leur mise en oeuvre sur les sites"*.

Au demeurant c'est bien parce que des difficultés sont encore sensibles sur certains points « techniques » que l'appréciation de l'autorité de sûreté reste si mesurée.

3.2 Certains points « techniques » nécessitent de maintenir un effort spécifique

3.2.1 La gestion des DMP

Suite à l'engagement de la réforme de la maintenance, et conformément à une demande exprimée à plusieurs reprises par l'autorité de sûreté, EDF a engagé vers 1991-1992 des actions visant à mieux identifier et à hiérarchiser vis-à-vis de la sûreté les différentes modifications que subit l'installation dans le cadre de certaines interventions de maintenance ou de réalisation d'essais. En 1993 la notion de DMP (Dispositions et Moyens provisoires) ⁽⁵⁷⁾ a été complétée par celle de MTI (Modifications temporaires de l'installation) :

- les MTI correspondent à ce qui était auparavant appelé DMP, c'est-à-dire toute manoeuvre d'organe, toute modification de paramètre, toute pose ou dépose de matériel sur un circuit, ayant une incidence sur le fonctionnement des circuits et qui ne sont pas prévues dans les documents définissant les différentes phases d'exploitation de l'installation ;
- les DMP sont désormais un sous-ensemble des MTI : il regroupe celles des MTI qui conduisent, par leur utilisation en dehors des états de tranche pour lesquels elles ont été prévues, un risque pour la sûreté, la disponibilité ou la sécurité.

Le nombre de DMP posés est très élevé lors des opérations d'arrêt de tranche et de redémarrage ; il peut atteindre plusieurs centaines tout en restant variable selon les sites. Au cours du cycle d'exploitation l'utilisation des DMP est limitée à la réalisation d'essais en fonctionnement ou à des interventions fortuites. Le recours aux DMP résulte de la conception des installations qui ne peut pas répondre de façon satisfaisante à la fois au cahier des charges fonctionnel et aux exigences en matière de maintenabilité et de testabilité des systèmes.

Le risque créé par les DMP vient de ce que le contrôle-commande n'est pas conçu pour signaler leur présence aux opérateurs. En conséquence, certaines fonctions du réacteur peuvent être inhibées alors que les opérateurs pensent qu'elles sont disponibles ; réciproquement certaines fonctions peuvent être activées sans correspondre directement à une manoeuvre effectuée par les opérateurs. On peut signaler par exemple : 1/ la sollicitation intempestive des actions de protection ou de sauvegarde du réacteur (arrêt automatique, aspersion de l'enceinte) ; 2/ le basculement de sources électriques (démarrage des diesels) ; 3/ l'altération de la fonction de confinement (perte du confinement en arrêt de tranche par dégradation des DMP posés) ; 4/ l'altération de la fonction de contrôle de la réactivité (indisponibilité d'alarmes ou de signaux d'arrêt automatique) ; 5/ altération de la fonction de refroidissement (dégradation potentielle du

⁵⁷ Dans la revue interne *C'est arrivé dans les centrales*, un article "d'humeur et d'humour" relève que "la signification de DMP ne signifie pas encore pour tous DISPOSITION ET MOYEN PARTICULIERS. Pour s'en convaincre il suffit de considérer le petit florilège de ce qu'on a pu voir parfois : Dispositif de Maintenance provisoire, Dispositif de Manoeuvre particulière, Dispositif et Manoeuvre provisoire, Disposition et Moyen provisoire, Dispositif et Méthode particulier et le encore trop fréquent Dispositif et Moyen particulier". L'auteur de l'article met ensuite l'accent sur la signification des trois lettres composant le trigramme, qu'il convient de ne pas perdre de vue si l'on veut justement gérer correctement les DMP (voir *C'est arrivé dans les centrales*, n° 35, février 1995).

fonctionnement de circuits « fluides » par oubli de tapes, déposes de filtres, blocages de soupapes ou clapets, etc.).

EDF cherche depuis 1985 à maîtriser la gestion administrative des DMP, en commençant par une bonne définition de ceux-ci, c'est-à-dire satisfaisante au plan conceptuel et opérationnelle sur le terrain. La première version d'un Guide pratique a été élaborée en 1990. Un retour d'expérience réalisé en 1992 a montré la nécessité de reprendre les travaux suite à la réapparition d'incidents de niveau 2. Une Affaire a été ouverte au Département Exploitation des MCP en février 1993. Enfin un groupe de travail national a été constitué dans le cadre de la démarche Sûreté-Maintenance pour traiter des difficultés d'utilisation des DMP en cours d'exploitation. Ses efforts ont débouché sur :

- la rédaction de la directive DI 74 : ce texte a pour objectif d'établir les définitions et principes de gestion des DMP ; il précise les 4 causes « racines » provoquant les « incidents DMP » ; l'IPSN remarque que la DI 74 ne couvre formellement que les DMP du ressort d'EDF et non ceux des prestataires en cas 1 ; cependant l'IPSN estime que l'application stricte de la directive devrait permettre de diminuer le nombre d'anomalies dues aux DMP, pour autant que les obligations et définitions incluses dans la DI 74 soient précisées plus avant ;
- la révision du guide pratique (recueil de pratiques de gestion sur les sites) accompagné d'une fiche de sensibilisation diffusée largement parmi les agents ;
- le lancement d'un répertoire national des DMP et l'examen des modes opératoires de toutes les spécialités professionnelles d'une centrale pour la réalisation des analyses de risques ;
- le lancement d'actions de retour d'expérience sur l'application de la directive DI 74 à partir de 1995.

En octobre 1995, l'IPSN reconnaissait que la situation s'est nettement améliorée en termes de DMP mécaniques et que la gravité des conséquences des incidents engendrés par les MTI a diminué. Pour autant les constats effectués par les DRIRE montrent encore des insuffisances dans la gestion et la traçabilité des DMP. Cette appréciation rejoint parfaitement celle qui m'a été donnée de vive voix par J.M. SIMON, à la DRIRE Rhône Alpes : *« les constats et les observations formulés à l'issue des inspections sur les sites mettent en évidence une grande diversité dans la définition des DMP, une qualité souvent insuffisante de la gestion administrative et de la gestion physique des DMP, l'absence générale de réflexion sur les possibilités de réduire le nombre de DMP et une surveillance insuffisante de la gestion des DMP par les prestataires »*. En parallèle l'IPSN considère qu'il convient de faire porter les efforts dans plusieurs directions :

- étendre le champ d'application de la directive DI 74, qui a une conception trop restreinte du concept de DMP ;

- rappeler l'importance de l'analyse de risques préalable à l'intervention de maintenance, puisque c'est au vu de ses résultats que la MTI sera éventuellement classée en DMP donc soumise aux règles de la DI 74 ;
- poursuivre la recherche des DMP de premier démarrage, dont on a pendant trop longtemps « oublié » l'existence sur les réacteurs ;
- s'assurer que les sites appliquent bien les modalités de gestion prévues par la DI 74 ; cette recommandation s'inscrit de façon plus générale dans le processus de validation des options retenues au niveau du Parc pour déclinaison locale et application par les sites ;
- augmenter l'impact visuel des DMP ;
- réduire le nombre des DMP.

On voit par ailleurs que des progrès significatifs en matière de DMP doivent être recherchés dès la conception des systèmes. Pour ce qui concerne le parc nucléaire français on doit souhaiter — et l'autorité de sûreté pourrait demander au concepteur des précisions en ce sens — que le projet de réacteur européen EPR tienne compte de l'impératif de réduction à la source des DMP.

3.2.2 La vérification du caractère opérationnel des capteurs IPS

Sous cette appellation quelque peu barbare se cache l'une des voies par lesquelles on peut se prémunir contre certains incidents pouvant affecter des systèmes importants pour la sûreté. Les capteurs des systèmes IPS délivrent les signaux qui, traités par le contrôle-commande centralisé, permettent aux automatismes et aux opérateurs de contrôler les paramètres de fonctionnement de ces systèmes afin de les ajuster, de les corriger, voire d'initier une action de protection. Les capteurs délivrent des informations sur des températures, des pressions, des débits ou des niveaux de fluide.

Le capteur n'est qu'un élément d'un dispositif de mesure beaucoup plus complexe. Un tel dispositif comprend en effet : 1/ un piquage sur la portion de circuit sur laquelle on veut effectuer la mesure ; 2/ une tuyauterie de faible diamètre soudée sur le piquage ; 3/ une première vanne d'isolement, soudée sur la tuyauterie (dans le cas de mesures de pression différentielle ces vannes sont au nombre de deux : une vanne d'isolement côté haute pression, une du côté basse pression) ; 4/ une deuxième vanne dite « d'instrumentation » ; 5/ un tube reliant la vanne d'instrumentation au capteur ; 6/ selon les mesures : un pot de condensation, un pot de purge, un séparateur à membranes, une colonne de référence, etc. ; 7/ un transmetteur qui transforme la grandeur physique en signal électrique ; 8/ une liaison électrique servant à la transmission du signal du transmetteur vers le contrôle-commande centralisé.

On conçoit que la maintenance d'un capteur, sa calibration périodique ou toute autre opération relative à la mesure implique un certain nombre d'actions sur les éléments « mobiles » du dispositif, créant ainsi le risque de rendre le capteur inopérant ou son signal indisponible. En particulier, il convient de placer dans la bonne position, et dans le bon ordre, les vannes assurant le « contact » entre le capteur et

le circuit où on pratique la mesure : cette opération constitue le « lignage » du capteur. Il convient de noter que les vannes d'isolement sont généralement manoeuvrées par les agents du service conduite tandis que les vannes d'instrumentation et les dispositifs placés en aval (colonnes de référence, dispositifs de purge ou vidange, etc.) sont manoeuvrés par les agents du service Automatismes. De même ceux-ci sont chargés de vérifier les connexions électriques et la continuité de la liaison électrique entre le capteur et le contrôle-commande.

Plusieurs incidents, dont certains ont conduit à la détérioration de matériels, ont justifié que la DSIN se penche sur la question dès le début des années 90. EDF avait alors engagé des actions de repérage des vannes d'instrumentation de certains capteurs, la formalisation de la vérification du fonctionnement des capteurs pour lesquels l'indication fournie aux opérateurs de la salle de commande peut être validée, un contrôle supplémentaire (zéro électrique) pour les capteurs dont la mesure ne peut être validée, la cohérence des procédures au niveau national, des instructions données aux sites relatives aux capteurs à contrôler lors d'un arrêt fortuit.

Pour répondre à ses engagements vis-à-vis de la DSIN, le Département Exploitation du Parc a diffusé aux sites en juillet 1993 une Documentation Conduite en arrêt de Tranche (DCAT) dont l'objectif était de définir la méthode de contrôle du caractère opérationnel des capteurs des systèmes IPS, afin de réduire les incidents provenant d'une erreur de lignage. La DCAT s'intéresse aux capteurs de débit, pression et niveau, EDF considérant que les caractéristiques et le mode d'exploitation des capteurs de température les garantissent contre toute erreur de lignage, ainsi que les dispositions retenues par ailleurs pour garantir leur opérabilité. L'IPSN et EDF ont conduit un dialogue serré sur l'apport de la DCAT et ses limitations.

L'IPSN comme EDF, chacun comptabilisant les incidents selon une méthode propre, ont tous deux noté une diminution réelle du nombre d'incidents entre 1992 et 1995. EDF a estimé que cette décroissance était significative du bon résultat des actions engagées et qu'en l'absence d'infirmité de ceux-ci par la survenue de nouveaux incidents, il n'était pas opportun d'engager des actions complémentaires.

L'IPSN a cependant considéré comme souhaitable d'élargir la perspective : plutôt que se limiter à la vérification du caractère opérationnel des capteurs, il conviendrait d'analyser la situation en termes de disponibilité des signaux provenant de ces capteurs. Dans ce cas, des axes résiduels d'amélioration de la disponibilité peuvent être dégagés :

- amélioration du repérage physique des capteurs et des dispositifs de mesure associés ;
- actions à engager pour réduire les difficultés persistantes liées à l'interface Conduite-Automatismes ;
- formalisation des contrôles par intercomparaison de certaines mesures redondantes, dont l'insuffisance peut conduire à ne pas détecter des erreurs potentielles de calibration.

EDF considère que ces deux dernières questions sont couvertes dans le cadre des démarches initiées par le Parc, au premier chef la démarche Sécurité-Maintenance, ainsi que par le professionnalisme des opérateurs. L'IPSN a exprimé ses doutes, dus à l'impossibilité d'identifier des indicateurs pertinents relatifs à l'efficacité des démarches sur le niveau de sûreté des installations.

3.2.3 Les requalifications et essais de redémarrage

Selon les termes employés par EDF dans le document de doctrine DI 76, "les essais de requalification consistent en une vérification du fonctionnement d'un matériel-système pour s'assurer que les performances requises à la conception sont maintenues ou retrouvées à la suite d'une intervention, d'une modification ou d'un événement d'exploitation". Sont exclus de cette définition : 1/ les contrôles et vérifications, qui constituent des lignes de défense normales en intervention ; 2/ les essais périodiques, qui ont pour objectif de s'assurer que les performances nominales des systèmes n'ont pas été dégradées fortuitement ; 3/ les essais de qualification et de démarrage, effectués à la fin de la construction des installations.

Au titre de la requalification, un matériel doit avoir retrouvé ses capacités propres (requalification intrinsèque) et pouvoir assumer son rôle au sein du système fonctionnel auquel il appartient (requalification fonctionnelle). La requalification intrinsèque, axée sur le matériel lui-même, est généralement du ressort des équipes de maintenance, la requalification fonctionnelle relève plutôt de la conduite.

La requalification du matériel après intervention est la dernière ligne de défense dont on dispose pour détecter d'éventuelles erreurs d'intervention. Si les essais de requalification présentent des lacunes, cela peut conduire à des situations où les systèmes IPS sont incapables de satisfaire à leurs performances nominales, voire à des situations d'exploitation dégradées du fait même de la réalisation de l'essai. C'est dire que l'autorité de sûreté et EDF ont dès 1990 placé les requalifications au coeur de la démarche d'amélioration de la sûreté. Six ans après certaines difficultés perdurent, qui montrent la complexité du sujet.

Les constats dressés par la DRIRE Rhône Alpes, dont elle m'a donné une synthèse, sont assez sévères. "L'organisation relative aux essais de requalification n'est pas toujours formalisée et les interfaces avec la conduite sont parfois insuffisamment définies. Des écarts et des difficultés sont apparus lors de l'application de la note de doctrine relative aux essais de requalification des systèmes de sauvegarde. Il a été observé :"

"— des requalifications inadaptées ;"

"— des incohérences dans les critères à respecter lors des requalifications ;"

"— l'absence de tolérances associées à ces mêmes critères."

"L'absence de requalification n'est pas toujours justifiée et, dans les dossiers de modification, les essais de requalification ne sont pas toujours systématiquement prévus ni suffisants."

De façon tout à fait ponctuelle, j'ai effectivement remarqué à Saint Alban une difficulté de communication entre la conduite et la branche Machines tournantes du service Travaux. Pour concevoir les requalifications intrinsèques, les préparateurs de la branche s'appuient sur des critères de fonctionnement tandis que pour concevoir les requalifications fonctionnelles la conduite s'appuie sur les critères de sûreté, qui sont à la base des essais. Il s'ensuit qu'il y a parfois des incompréhensions entre préparation et conduite. Par exemple, la conduite signale régulièrement une température de gaz en entrée de turbo trop élevée ; elle se fonde pour cela sur le critère de l'essai périodique conduite, qui impose une température maximale de 48°C alors que les critères utilisés par la préparation sont fondés sur les GEE (Guides d'Exploitation et d'Entretien) et prévoient une température maximale de 55°C. *"La préparation doit dire à chaque fois à la conduite qu'il n'y a pas de problème"* déplorait M. WAUCQUIER, préparateur principal Machines tournantes. Réalisant la cause profonde de cette divergence — l'emploi par chaque protagoniste de critères différents — la même personne s'est alors exclamée *"voilà pourquoi il y a des incohérences apparentes dans les procédures !"* En ce sens la visite de l'Inspection nucléaire n'a pas été inutile...

En sens inverse, la préparation robinetterie (service Travaux) m'a semblé avoir adapté ses critères de requalification intrinsèque aux critères des essais périodiques. Cette « connivence » avec la Conduite a même conduit la préparation à détecter des erreurs dans les nouvelles Spécifications techniques d'Exploitation, mises en application à partir de 1995 : le document national de référence sur le tarage de certaines soupapes était faux, et la branche préparation a demandé une modification des essais périodiques. Elle semble avoir, d'après ce que j'ai compris, adopté une politique de vérification de diverses valeurs d'essais sur certains matériels ; cela me paraît être une excellente initiative. Au demeurant, C. PROBST, préparateur principal, estimait qu'il serait intéressant d'avoir un correspondant de la Structure Sûreté-Qualité dans le service, car *"en l'occurrence le professionnalisme a joué, mais il est difficile de doubler ou tripler toutes les études matériels, surtout pour celles qui sont faites au niveau national !"*

Plusieurs initiatives ont été conduites par EDF : la directive DI 76, émise en novembre 1993, comporte quelques définitions et six prescriptions : 1/ la requalification fait partie intégrante de l'intervention ; 2/ la requalification fait l'objet d'une préparation préalable au début de l'intervention, qu'elle soit programmée ou fortuite ; 3/ la traçabilité de la préparation, de l'exécution et du résultat de la requalification doit être assurée par les documents d'intervention ; 4/ les essais de requalification nécessitent des compétences variées (maintenance, conduite...), une répartition claire des responsabilités est définie dès la phase de préparation de l'activité ; 5/ une coordination est nécessaire pour l'ensemble des requalifications ; 6/ l'atteinte des résultats des requalifications et le traitement des écarts éventuels sont un préalable à la déclaration de disponibilité des systèmes. Par ailleurs une Affaire Parc a été ouverte en juillet 1995, qui devrait aboutir à une refonte des documents d'accompagnement de la directive DI 76.

Suite à une demande de la DSIN formulée en avril 1991, EDF a mis en place sur les sites, à l'occasion des arrêts de tranche, une réunion technique de présentation à l'autorité de sûreté des résultats d'essais de redémarrage. Ces réunions, auxquelles participe l'IPSN, se tiennent normalement dans les 10 jours qui suivent le passage à 90%

de la puissance nominale du réacteur. Elles nécessitent un travail de synthèse de l'exploitant et constituent en ce sens un ultime contrôle.

Notons que les réunions d'essais ne sont pas superfétatoires vis-à-vis des COMSAT. Les secondes ont vocation à garantir la disponibilité des systèmes requis pour effectuer un changement d'état de la chaudière ; les premières ont vocation à s'assurer que les conditions de sûreté sont remplies au moment du démarrage de la tranche et susceptibles de durer pendant tout le cycle de fonctionnement qui s'amorce.

Les réunions de présentation des essais de redémarrage ont permis à l'IPSN de constater une amélioration de la maîtrise des difficultés lors du redémarrage des tranches. Un certain nombre de bonnes pratiques sont apparues, comme : l'évolution des organisations locales (montée en puissance des COMSAT, création d'entités spécialisées pour la mesure de vibrations des pompes, intégration de personnel de conduite dans les ingénieries de site, etc.) ; l'extension de la démarche Qualité-Sûreté (amélioration de la gestion des requalifications intrinsèques) ; la bonne formalisation par les documents de doctrine établis par les MCP des principes à mettre en oeuvre pour identifier et traiter les écarts apparus lors des essais ; l'amélioration du support documentaire en matière d'essais.

Toutefois des anomalies perdurent :

- les programmes d'essais présentent toujours des défauts d'exhaustivité, souvent liés à des interfaces entre spécialités techniques différentes ou à une connaissance insuffisante de la totalité des interventions ;
- on relève parfois des défauts d'exécution tenant notamment à l'état des tranches requis au préalable ; 3/ l'exploitant ne détecte pas toujours les écarts, par exemple lorsqu'un essai n'a été réussi qu'après plusieurs tentatives.
- les essais de requalification sont souvent inadaptés à l'intervention ; ils sont généralement calqués sur les essais périodiques et peuvent ne pas déceler l'éventuel défaut provoqué par l'intervention pratiquée sur le matériel ;
- les essais sont parfois incompatibles avec l'état actuel de la tranche, entraînant un écart vis-à-vis des Spécifications techniques d'exploitation ;
- l'analyse en ligne et le contrôle des résultats restent insuffisants ; ceux-ci doivent permettre de vérifier, entre autres, que les conditions initiales de réalisation de l'essai sont satisfaites.
- les essais manquent encore d'un document d'enchaînement standard similaire à celui utilisé lors des essais de premier démarrage ; un tel document permettrait de donner une plus grande cohérence au déroulement des essais, tout en favorisant une meilleure exhaustivité et la vérification de leur compatibilité avec les STE.

De façon plus générale, l'Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire d'EDF estimait dans son rapport 1995 que *"pour les requalifications, le retour d'expérience*

montrant que des efforts sont à faire pour intégrer cette ligne de défense dans la préparation des dossiers d'intervention et de modification, en appliquant les recommandations nationales pour s'assurer de leur adéquation et de leur traçabilité. La mise en place des ingénieries devrait permettre une meilleure préparation et analyse des écarts."

Pour sa part, l'IPSN estime que certaines voies de progrès mises en œuvre dans le cadre de la démarche Sûreté-Maintenance sont susceptibles de contribuer à une amélioration des essais de requalification : développement d'une « culture essais » favorisée par le retour d'expérience, constitution du réseau des ingénieries, etc. Mais agissant seulement sur le contexte de conception, réalisation et interprétation des essais, ces voies de progrès n'impliquent pas nécessairement un succès assuré et prochain.

Quels enseignements tirer des considérations présentées dans ce point 3.2 ? Les outils existent pour renforcer notablement le niveau de qualité des interventions de maintenance et opérations assimilées⁵⁸. Leur bonne application repose sur la combinaison de quelques facteurs complémentaires : une meilleure clarté — dans certains cas — de la doctrine fondamentale et des moyens qu'elle met à disposition des sites pour appliquer les principes sur le terrain ; une meilleure communication entre les agents et les services concernés ; surtout, une plus grande rigueur dans l'exercice des activités de « gestion » de la maintenance.

En ce sens on peut dire que la réforme de la maintenance est à la fois un retour aux sources et une révolution culturelle.

3.3 La réforme de la maintenance : retour aux sources et révolution culturelle

3.3.1 La démarche Sûreté-Maintenance doit conduire à une meilleure articulation entre professionnalisme et assurance qualité

"Il faut éviter que le cadre très prescriptif dans lequel se déroule toute l'exploitation d'une centrale nucléaire ne fasse oublier aux agents qu'on attend d'eux avant tout qu'ils soient de bons professionnels, et qu'ils gardent un certain recul par rapport au cadre prescriptif. [...] Il faut redonner aux exécutants un esprit d'initiative." Les termes du débat tels qu'ils étaient présentés dans son rapport 1991 par l'Inspecteur général pour la Sûreté nucléaire d'EDF restent tout aussi valables aujourd'hui.

J'ai pu constater sur le terrain, à Saint Alban, combien cette « tension essentielle » entre prescription et professionnalisme est intensément vécue par les agents. Au cours de son entretien avec l'équipe IN, R. CHARDON, chef de la section Exécution du service Travaux, demandait ainsi : *"entre l'INSAG-4 et la précision des modes opératoires, où peut-on se poser des questions ? Quelle est la marge de liberté laissée à l'individu ? Il ne reste en fait que la possibilité de bloquer une intervention si l'on n'est pas convaincu de sa pertinence vis-à-vis de la sûreté."* R. CHARDON estime à titre personnel que l'on devrait pouvoir aller travailler avec seulement le rapport d'expertise — qui présente le résultat des mesures de caractérisation effectuées sur le matériel juste avant

⁵⁸ Je pense ici d'une part aux opérations de modification, d'autre part aux essais de redémarrage qui recouvrent la notion d'essais de requalification et d'essais périodiques.

l'intervention — et le PdQ — qui met seulement en avant les exigences de sûreté appliquées à l'intervention ; tout le reste devrait relever du professionnalisme.

Au demeurant les gammes d'intervention ne sont pas inutiles au plan de l'assurance qualité. Au cours d'une des réunions quotidiennes de synthèse entre les pilotes des domaines d'évaluation, la question de la gestion d'un DMP ⁽⁵⁹⁾ s'est posée : les règles de gestion des DMP devaient-elles s'appliquer à ce débranchement ? Après une discussion de principe, les divers intervenants ont conclu que la gamme d'intervention couvrirait peut-être l'opération de débranchement-rebranchement et qu'il conviendrait de s'y référer pour avoir la réponse à la question posée par l'inspecteur. En tant qu'elle porte une partie de l'information intéressant l'intervention, la gamme est aussi un instrument de la traçabilité, donc s'intègre dans le processus d'assurance de la qualité.

J'ai indiqué précédemment que la DSIN s'est intéressée dans son courrier du 30 novembre 1995 à *"la définition du rôle des procédures de conduite, d'essais ou de travaux par rapport au savoir-faire des agents et l'élaboration de celles-ci en cohérence avec l'exigence de maintien de ce savoir-faire"*. Dans sa réponse du 28 juin 1996, EDF joint en annexe un document sur *"le rôle des documents d'exploitation et [leurs] conditions d'élaboration"*. Cette annexe traite : 1/ du mode de recours aux documents, notamment en fonction du savoir-faire des utilisateurs ; 2/ de l'organisation mise en place au niveau national et local pour garantir la qualité des documents d'exploitation ; 3/ de la prise en compte des aspects ergonomiques et des besoins des utilisateurs dans la mise en forme des documents d'exploitation.

Si le contenu du point 2/ est bien bordé, les points 1/ et 3/ relèvent plus de la dissertation philosophique que de l'affirmation d'une doctrine et des instruments d'action associés. Sur le mode de recours aux documents (point 1/), EDF répond d'ailleurs au fond uniquement pour ce qui concerne les documents de conduite.

Cette difficulté évidente à définir une politique claire et des principes généraux n'empêche pas certaines initiatives d'être prises sur le terrain. R. CHARDON indiquait par exemple que le site de Saint Alban a mis en place une politique visant à transférer progressivement certaines activités des sections de préparation vers les sections d'exécution. Il s'agit d'une part de désengorger les sections préparation pour les activités à faible valeur ajoutée, d'autre part de redonner un bon niveau de technicité ainsi qu'un esprit d'initiative au personnel d'exécution. *"Il faut se remettre à réfléchir car les gammes et les procédures sont des processus très réducteurs."* Cette démarche ne constitue pas bien sûr une réponse formelle à la demande de la DSIN ; ce n'est pas son objet. Elle montre cependant la nécessité de s'interroger peut-être plus avant sur la place du formalisme dans les opérations d'exploitation des centrales nucléaires.

EDF considère que, de façon générale, le formalisme doit être adapté aux enjeux de sûreté. Au titre des documents d'intervention, j'ai déjà mentionné par exemple que le PdQ ou le PQS ne sont pas obligatoires, mais conditionnés au résultat de l'analyse de

⁵⁹ Il s'agissait en l'occurrence d'un fil débranché, repéré physiquement sur l'installation par une étiquette portant la mention DMP mais pas tracé dans les documents d'intervention.

risques. Lors de la réunion du 20 novembre, B. DUPRAZ me faisait part de l'engagement d'une refonte générale des gammes d'intervention.

Dans le milieu des années 80, lorsque le parc nucléaire a commencé sa montée en puissance, il a fallu en gérer l'exploitation et la maintenance. EDF s'est alors lancé dans une entreprise d'envergure : la rédaction de gammes d'intervention conçues pour pouvoir être appliquées même par un non professionnel. Il est vrai que les débuts du parc ont vu le recrutement de personnels qui avaient parfois une expérience réduite des métiers industriels. Plusieurs milliers de gammes très détaillées ont ainsi été couchées sur le papier, ce qui représente un investissement considérable.

Il apparaît aujourd'hui souhaitable pour EDF de se reposer plus sur le geste naturel du bon professionnel ; il conviendrait ainsi d'élaguer les gammes de ce qui est inutile. Je remarque alors que, dans la logique du recentrage sur la maîtrise d'ouvrage, la gamme et le PdQ auront naturellement vocation à se rejoindre. Le processus formel de révision des gammes s'étend de 1993 à 1998. En effet, il convient de ne pas fragiliser la confiance dans le système actuel.

La deuxième voie d'évolution explorée par EDF consiste à favoriser un certain retour à l'oral. Nous savons tous d'expérience que l'écrit est un vecteur efficace d'information, mais qu'il ne peut en lui-même porter toute l'information. Or justement la maîtrise des interfaces suppose la constitution de liaisons fortes avec les acteurs de l'environnement proche ou lointain. Communiquer pour réfléchir est l'une des missions essentielles des chargés d'affaires. Les nombreuses réunions de terrain visent à établir ce réseau de l'oral, en particulier les réunions non décisionnelles comme la RAT (réunion d'arrêt de tranche). Bien sûr les supports matériels (informatique ou papier) restent en second niveau.

Toute la difficulté du message consiste à faire comprendre que l'assurance qualité n'est pas une couche de formalisme supplémentaire mais répond à la nécessité de prouver que l'on fait du bon travail. Il faut reconnaître toutefois qu'elle constitue une charge supplémentaire. L'assurance qualité ne remplace pas le professionnalisme car elle ne répond pas au même objectif. Elle doit avoir un sens pour elle même et savoir s'imposer aux acteurs au même titre que la compétence technique.

La démarche Sûreté-Maintenance est donc un retour aux sources du nucléaire. Elle tend à introduire encore plus avant dans le domaine de la maintenance cet équilibre subtil qui caractérise, idéalement, la culture nucléaire : la rigueur indispensable du geste et de la communication (le rapport NOC avait montré à l'envi combien cette rigueur était parfois déficiente) ; le professionnalisme et la culture de sûreté (qui se rapportent respectivement à la maîtrise de la machine et d'un système complexe). *"Il faut nucléariser le nucléaire"* me disait B. DUPRAZ de façon volontairement provocante.

A croire que la démarche Sûreté-Maintenance est aussi une révolution culturelle, dont EDF n'a peut-être pas fini de mesurer toutes les conséquences.

3.3.2 La démarche Sûreté-Maintenance est aussi une révolution culturelle

J'avais déjà employé le terme lors du rapport 1991 ; la suite des événements a largement confirmé cette appréciation, que je partage avec la majeure partie de mes interlocuteurs.

"La démarche Sûreté-Maintenance a bousculé assez rudement ce que les gens avaient construit et ce en quoi ils croient." Cette phrase lapidaire du Groupe Facteurs Humains de l'EPN (1992) résume bien le choc induit par l'introduction de la démarche. Dans une entreprise où la légitimité se fondait sur la compétence technique, où le métier structurait les relations de travail, les nouveaux modes d'organisation du travail et les nouveaux métiers ont profondément perturbé les points de référence des agents.

Le passage d'une culture de métier à une culture de process ne se fait pas sans heurt. Les sites sont encore bien souvent structurés selon les métiers (Saint Alban m'a paru l'être très fortement) à l'exception de Civaux, m'a-t-on dit, qui tire profit de sa situation de « dernier né » du parc nucléaire. Avec l'apparition des nouvelles fonctions (chargés d'affaires, chargés de contrôle) le cadre rassurant du métier explose et celui qui ne maîtrise pas les qualités nouvelles requises par cette évolution se trouve marginalisé.

Lors de la réunion de travail du 6 juillet 1994 à l'IPSN, C. AUFORT estimait que quatre « points sensibles » dans la démarche Sûreté-Maintenance nécessitaient une attention soutenue à l'avenir ; il y rangeait la mise en place de nouveaux métiers. Cette opinion est largement confirmée dans une thèse de sociologie récemment soutenue à l'Institut d'Études politiques de Paris par Mlle M. BOURRIER⁽⁶⁰⁾, à laquelle j'ai eu l'honneur d'être associé en tant que membre du jury.

Dans les premiers temps de la réforme, l'idée que les tâches de contrôle pourraient constituer un élargissement et un enrichissement individuel ne semble pas être largement partagée. L'engagement dans ce nouveau métier, notablement différent de celui qu'ils exerçaient avant, est parfois perçu par les agents comme un risque de perte de compétences au niveau du « savoir-faire ». Ce risque est encore mis en avant aujourd'hui : pour J. OLIVIER (CGT), *"il y a une réelle perte de savoir-faire chez les agents EDF sans pour autant qu'il soit transféré sur les prestataires"*. H. LEGASTELLOIS (CGT) déplore que *"les recyclages de terrain ne marchent pas ; on avait pensé en faire tous les 2-3 ans, par des interventions sur les tranches à l'arrêt, mais on n'a pas pu. D'ailleurs les gens perdent parfois le goût d'aller sur le terrain, ils n'ont plus confiance en eux."*

Par ailleurs, les métiers d'EDF sont dans leur ensemble fortement structurés autour des spécialités professionnelles et valorisent la compétence technique. Dans ces conditions, la nomination d'un agent comme chargé de contrôle, perçue comme une fonction à caractère plus « généraliste », a pu souvent passer pour une déqualification.

S'appuyant sur l'exemple de Nogent en 1994, M. BOURRIER dresse un tableau similaire, mais plus intéressant puisqu'il donne aussi des indications sur les « nouveaux

⁶⁰ M. BOURRIER, *Une analyse stratégique de la stabilité organisationnelle. Organisation des activités de maintenance dans quatre centrales nucléaires en France et aux États-Unis*, Institut d'Études politiques de Paris, décembre 1996.

arrivants » : *"La perte des métiers, des savoir-faire, du « professionnalisme » et la non transmission d'un bagage à des agents plus jeunes sont durement ressentis. Les fonctions de Chargés de contrôles et de Chargés d'affaires sont très logiquement peu appréciées par les anciens, alors que les plus jeunes, plus diplômés, y voient parfois un moyen de progresser et d'échapper aux travaux d'Exécution pure [...] qu'ils considèrent comme peu valorisants."* Plus loin M. BOURRIER relève que *"beaucoup de Chargés de contrôle EDF déclarent qu'ils sont en train de désapprendre et que parfois ils se sentent dominés techniquement par les prestataires, habitués à monter et démonter toutes sortes de matériels. [...] Dans l'ensemble la maintenance du site de Nogent traverse une crise d'identité assez importante, aggravée par le sentiment de domination technique que beaucoup confessent. Une constatation qui va à l'encontre de la réputation généralement faite aux prestataires, qui sont, dans le discours syndical notamment, présentés comme ne disposant pas d'un bagage professionnel suffisant pour s'acquitter des tâches de maintenance."*

La fonction de contrôle pose de véritables problèmes de comportement. Les agents ont encore souvent du mal à se mettre dans la peau d'un contrôleur, car le contrôle reste inconsciemment assimilé à un « flicage ». J. LEFEBVRE m'indiquait lors d'une discussion informelle à Saint Alban qu'il avait vu un cadre qui n'exerçait pas de contrôle sur la réalisation des formations pour les agents qu'il avait sous son autorité : *"il faisait confiance, naturellement."* Un sondage effectué par l'IN a révélé une réalité différente des attentes du « contrôleur ». Par ailleurs, les chargés de contrôle ont longtemps eu du mal à intégrer leur rôle de représentant d'EDF-donneur d'ordres auprès du prestataire. *"Il a fallu près de cinq ans pour que le fait de contrôler réellement entre dans les moeurs"* estimait N. KRIEGER (CNPE du Bugey). A lire la thèse de M. BOURRIER, je comprends pourquoi...

La situation a sensiblement évolué depuis, et certains entretiens à Saint Alban m'ont montré que la fonction de chargé de contrôle est désormais mieux perçue. D'après R. CHARDON (service Travaux), seuls 25% des agents susceptibles de devenir chargés de contrôle ne le veulent pas. *"On ne les force pas car les obstacles sont profonds : méfiance, position de principe, crainte sincère de perdre leur professionnalisme ; on espère cependant arriver à en convaincre certains, en y mettant le temps nécessaire."*

La révolution culturelle est profondément déstabilisatrice. Il est de la mission du management de montrer qu'elle constitue aussi une occasion de se remettre en cause afin de s'enrichir. Avec une grande humanité, P. TANGUY, alors Inspecteur général pour la Sécurité nucléaire d'EDF, donnait dans son rapport 1992 une règle de conduite : *"Il faut que chacun ait l'espoir que les progrès le concernent personnellement et comprenne comment les enjeux se situent à son niveau et comment il y prend part concrètement."* Beau programme, mais ô combien difficile !

Les rigidités culturelles sont fortes et mettront du temps à être levées. Se limiter cependant à ce simple constat peut conduire à négliger une autre dimension, toute aussi essentielle, de la réforme de la maintenance.

3.3.3 La réforme de la maintenance, une révolution de palais ?

S'il est un aspect dont aucun de mes interlocuteurs n'a jamais voulu aborder, de si loin que ce soit, l'ombre du début d'un commencement d'évocation, c'est bien celui du bouleversement du pouvoir enclenché ou renforcé par la réforme de la maintenance.

L'année 1990 voit se rejoindre deux mouvements indépendants mais concomittants : EDF s'engage sur la voie de la réforme tandis que le législateur adopte la loi du 12 juillet 1990 *"favorisant la stabilité de l'emploi par l'adaptation du régime des contrats précaires"*. Les nouvelles dispositions législatives obligent l'entreprise prestataire à encadrer directement ses employés sur le lieu de travail de l'entreprise utilisatrice. Les exécutants prestataires sont donc désormais encadrés par un contremaître du même prestataire.

Les contremaîtres d'EDF perdent ainsi toute autorité sur les « équipes mixtes » EDF-prestataires qui avaient l'habitude d'opérer traditionnellement sur les tranches nucléaires. Ces équipes mixtes disparaissent du fait de la loi. Les contremaîtres se retrouvent avec leurs équipes EDF de faibles effectifs, sans autorité directe sur des chantiers puisqu'ils n'ont plus les moyens de les réaliser par eux-mêmes ; les agents d'exécution voient leur champ d'action limité. Au contraire les prestataires gagnent en autonomie, en responsabilité, donc en « présence » sur le terrain. La balance du pouvoir sur le chantier se renverse.

Poussée par l'autorité de sûreté, EDF réforme également profondément son système de contrôle. Afin désormais de répondre strictement aux exigences de l'arrêté qualité de 1984, l'exploitant nucléaire est prié de mettre en oeuvre un système où le contrôle technique ne sera plus assuré par une personne ayant accompli l'intervention (art. 8). Auparavant les agents EDF sur le chantier assuraient à la fois le contrôle technique, la levée des points d'arrêt et des points de convocation ; le contremaître EDF se chargeait de la vérification. *"Cependant", dit M. BOURRIER, "dans le même temps, la plupart des chantiers sont désormais tenus par les prestataires puisque les contremaîtres ou les techniciens d'EDF ne peuvent plus y donner d'ordres. Il faut donc premièrement confier le contrôle de premier niveau aux prestataires, tout en s'assurant que le contrôle n'est pas fait par quelqu'un qui a participé au chantier. Et, deuxièmement, il faut organiser la surveillance des prestataires. La solution retenue par EDF pour remplir cette seconde exigence a consisté à créer les fonctions de Chargés de contrôle et Chargés d'affaires."*

Cette politique entraîne également un redéploiement interne des effectifs, appuyé par des actions de formation, entre les différents collèges d'agents EDF : le collège exécution diminue tandis que la maîtrise et l'encadrement s'accroissent.

Les effets « loi de 1990 », « maîtrise d'ouvrage » et « arrêté qualité » se conjuguent pour déstabiliser les relations traditionnelles à l'intérieur de l'entreprise. L'équilibre politique entre forces syndicales et forces managériales est remis en cause. Le combat contre la réforme de la maintenance n'en sera que plus dur.

Plongeant dans la réalité du terrain et le vécu personnel des agents à Bugey, M. BOURRIER dresse un tableau saisissant des tensions provoquées par la mise en oeuvre de la réforme sur le site en 1991. Elle estime que c'est à partir de ce moment que les relations entre les agents EDF et les prestataires se dégradent sérieusement. Elle montre par ailleurs que la maîtrise EDF est également déstabilisée : les contremaîtres ont perdu une part importante de leur pouvoir et ne sont plus au coeur du système d'information de terrain ; les chargés de contrôle sont très mal acceptés sur les chantiers encore tenus par les agents EDF (ils ont « trahi ») ; les prestataires estiment que l'instauration des chargés de contrôle limite leur autonomie toute jeune ; les contremaîtres voient les chargés de contrôle comme les symboles de leur déqualification ; les contremaîtres principaux perdent l'information de terrain qui leur était transmise par les contremaîtres, désormais écartés. De nouveaux "modes de régulation" des interventions se dessinent, avec une montée en puissance des préparateurs ⁽⁶¹⁾.

A ces nouveaux modes de régulation des interventions évoqués par M. BOURRIER, j'ajouterai celui de la régulation des ressources humaines, lui aussi profondément bouleversé par la réforme. Alors que la ligne hiérarchique traditionnelle perdure, les « lieux » où s'accomplissent les actions des individus échappent à la ligne hiérarchique du fait du développement des « missions ». Muni d'une lettre de mission rédigée par un chef de projet ⁽⁶²⁾, la personne est détachée par sa hiérarchie sur ce projet. Elle échappe au cadre traditionnel d'évaluation pour se trouver de façon temporaire placée sous une autre autorité, dans le cadre de responsabilités dont sa hiérarchie n'aura pas à juger sur le fond. Comment éviter dès lors des difficultés ou des tiraillements ?

Avec la réforme de la maintenance l'enjeu de pouvoir se déplace aussi en matière de relations contractuelles avec les prestataires. *"Les nouvelles pratiques contractuelles, telles que les mises en concurrence ou les appels d'offres, viennent frapper de plein fouet les anciens usages avec les entreprises sous-traitantes."* M. BOURRIER décrit alors un réseau de pratiques et d'arrangement informels où la haute maîtrise (contremaîtres et contremaîtres principaux) joue un rôle essentiel et d'où la notion de concurrence est absente. Au demeurant les intentions ne sont pas impures : *"Les raisons données par les techniciens pour ne pas mettre en concurrence sont directement liées à leur tentative de minimiser au maximum les risques de mauvaises surprises lors d'un arrêt de tranche."* Cependant *"toutes les tentatives visant à contractualiser les rapports les inquiètent. Ils s'y opposent très énergiquement car ils y voient un affaiblissement de leur pouvoir. On constate que le groupe de maintenance autrefois garant de la maintenance des installations se retrouve de plus en plus en bout de chaîne."*

La réforme de la maintenance a accompagné un déplacement des lieux de pouvoirs dans les centrales. Le relationnel est une valeur qui monte, les structures chargées des politiques industrielles sont valorisées par rapport aux structures chargées des choix techniques. Il n'est pas impossible que ce mouvement ait, en tant que tel, des répercussions sur la sûreté.

⁶¹ Ces évolutions m'étaient confirmées en 1994 par C. AUFORT, qui mettait en avant l'introduction d'une plus grande formalisation au sein d'un réseau de pratiques régulées par beaucoup d'informel.

⁶² Les chargés d'affaires établissent les lettres de mission de leurs chargés de contrôles, la direction du site établit les lettres de mission des chargés d'affaires, etc.

REFORMER : COMMENT ET JUSQU'OU ?

La réforme de la maintenance, appuyée par la démarche Sécurité-Maintenance, est un processus complexe et délicat. Il n'en est que plus important de donner des repères à des agents qui semblent parfois encore en manquer. P. DONNART (CFDT) me disait dernièrement que *"le personnel ne sait plus où il va. On ne peut plus empiler les réformes ; il faut du temps pour voir où on en est et aller au bout des réflexions déjà menées"*. C. AUFORT partage cette idée : *"les risques les plus importants ne sont pas ceux qui pourraient survenir à cause des retards pris, mais plutôt ceux qui seraient dus à une attitude trop volontariste dans la mise en place des réformes sans tenir compte de la vitesse d'assimilation des hommes sur le terrain. [...] Il ne faut pas préjuger des capacités de flexibilité des hommes"* ⁽⁶³⁾. Il faut que le temps physique laisse se développer le temps psychologique, disait-il dans un heureux langage en 1994.

Il faut aussi que les messages venant d'en haut ne paraissent pas brouillés. Or il est clair que le message de la compétitivité, pour nécessaire qu'il soit, a très fortement interféré avec le message de la démarche Sécurité-Maintenance. Sans même compter que cet amalgame a donné un terreau de choix pour le développement d'une forte contestation syndicale, ce qui n'était peut-être pas le but recherché au départ. Mais pouvait-on se passer du message de compétitivité dans le contexte européen troublé qui se dessine pour bientôt ? Ce message fait entrer dans l'univers protégé d'EDF la violence des forces du marché, la confrontation avec l'incertitude en même temps que l'ouverture au grand large. Il doit être géré avec prudence.

Avec la réforme de la maintenance, c'est aussi dans un nouveau rapport à la technique que s'engage EDF. La politique actuelle menée depuis plusieurs années par la direction tend clairement à éloigner l'encadrement de la technique au profit de la gestion. Le métier d'EDF est de produire de l'électricité, est-il souvent affirmé ; c'est dans cette optique que se produit l'évolution constatée.

Le mouvement de recentrage sur le métier de base est une tendance lourde de l'industrie depuis plusieurs années. On en sait les avantages, on commence parfois à en voir des inconvénients. Chacun sait les difficultés qu'éprouvent parfois les constructeurs automobiles face à des équipementiers à qui ils ont abandonné une grande partie de leur savoir-faire. Peut-être est-ce dû à une mauvaise appréciation de ce que doit être le métier de fabricant d'automobiles. En tous les cas, ces difficultés traduisent la perte de maîtrise du constructeur « donneur d'ordres » sur la conception technique de son produit fini.

Certains interlocuteurs — qui n'étaient pas syndicalistes pour deux sous — m'ont dit clairement qu'il y a une *"perte d'expérience opérationnelle par rapport à la « grande époque » du démarrage des tranches."* Ils notaient que *"la période d'équipement et de démarrage donnait aux gens une vision exhaustive et répétitive des phénomènes techniques dans les centrales et conduisait à un formidable apprentissage."* Aujourd'hui déplorent-ils *"les opérateurs ne verront plus dans leur carrière qu'un à deux"*

⁶³ C. AUFORT, E. DESMARES, *La sûreté nucléaire et la sous-traitance des opérations de maintenance*, communication au Symposium international *Human factors and organisation in NPP maintenance outages : impact on safety*, mai 1995.

arrêts et redémarrages complets. " On a heureusement fait beaucoup de progrès dans la maîtrise technique des phénomènes car *"si un accident comparable à Three Mile Island s'était produit à Fessenheim dans les premières années, on n'aurait pas su faire beaucoup mieux que les Américains avec les consignes de conduite accidentelle qui étaient alors disponibles auprès de Framatome !"* Pour ces personnes, *"on ne saurait plus gérer aujourd'hui certains incidents vécus au début du programme nucléaire."*

EDF n'est pas un fournisseur de biens et services comme les autres : EDF est un exploitant nucléaire. Une telle responsabilité vis-à-vis des populations implique que l'exploitant conserve une étroite intimité avec son outil de production. Cette intimité est le gage d'une confiance que l'on peut donner ou refuser.

CHAPITRE II

LA PROTECTION RADIOLOGIQUE DES TRAVAILLEURS EXTERIEURS DU NUCLEAIRE

1997 : UN TOURNANT ?

Une fois de plus le sujet brûlant de la protection radiologique des travailleurs extérieurs de l'industrie nucléaire revient sur le devant de la scène. Une fois de plus notre pays se joue l'un de ces drames sociaux dont il est si coutumier. Une fois de plus il prend le risque de se ridiculiser sur la scène européenne. Une fois de plus les joutes sont titanesques, à coups de grands principes, sans prendre en compte peut-être les données simples de la réalité.

Je n'avais pas prévu de me pencher à nouveau cette année sur la radioprotection des travailleurs du nucléaire. J'y suis contraint par l'actualité la plus récente, dans un contexte un peu hâtif qui excusera j'espère le caractère parfois sommaire de certaines informations présentées ici.

L'Office parlementaire s'est intéressé à la protection des travailleurs dès le premier rapport sur « *le contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires* », en 1990, et j'y ai moi-même consacré des développements fournis dans les éditions 1991 et 1993 du rapport. Si l'on doit reconnaître que les conditions de suivi des travailleurs extérieurs se sont heureusement améliorées, la question de la protection des travailleurs précaires continue quant à elle de susciter des polémiques.

1. LES CONDITIONS DE SUIVI DES TRAVAILLEURS EXTERIEURS SE SONT AMELIOREES

La protection radiologique ne se réduit pas au suivi, mais le suivi est indispensable à une bonne protection. Pour le suivi médical comme pour le suivi dosimétrique, l'année 1996 et le début d'année 1997 ont vu la concrétisation de projets importants.

1.1 La réforme du suivi médical des travailleurs exposés aux rayonnements complète les outils disponibles jusqu'ici

1.1.1 La création de services médicaux du travail spécialisés dans les postes sous rayonnements est une heureuse mesure

J'avais dénoncé dans mon rapport 1993 les carences et lacunes constatées dans le suivi médical des travailleurs extérieurs du nucléaire. Mes appréciations étaient motivées par diverses enquêtes qui mettaient en avant l'extrême mobilité géographique de certains salariés. Conjuguée à la pratique courante des « visites de réciprocité »⁽¹⁾, cette mobilité provoquait des lacunes ou des discontinuités dans leur suivi médical :

- dans le cadre d'interventions effectuées sur un site du CEA, il y a, en l'absence d'information, établissement obligatoire d'un bilan médical par un médecin du travail du CEA, quel que soit le suivi dont bénéficie le salarié par ailleurs ; cependant les résultats de ce bilan « maison » ne sont pas systématiquement communiqués au médecin du travail du salarié ;
- sur les sites d'EDF les salariés ne sont pas vus systématiquement (seule l'exposition interne est contrôlée en entrée et en sortie d'intervention en zone contrôlée) ; les mêmes difficultés de communication avec les médecins du travail des salariés sont relevées ;
- il en résulte que certains travailleurs voient plusieurs médecins du travail dont aucun ne dispose du dossier médical complet.

C'est pour remédier à cette carence d'organisation du système de médecine du travail que le Ministère des Affaires sociales a mis en chantier et fait aboutir le décret 97-137 du 13 février 1997 proposant des dispositions nouvelles relatives au suivi des travailleurs extérieurs⁽²⁾ dans les installations nucléaires de base.

Le décret commence par étendre l'obligation faite à l'exploitant de déclarer au médecin du travail et au CHSCT l'exercice de travaux spéciaux. Désormais l'exploitant doit également informer le chef de l'entreprise extérieure, à charge pour celui-ci d'avertir son CHSCT ou à défaut les délégués du personnel.

L'apport essentiel du décret se situe cependant dans les modifications apportées à l'organisation du suivi des travailleurs d'entreprises extérieures. J'en donne ici les grandes lignes, étant entendu que tous mes collègues parlementaires sont abonnés au Journal Officiel et peuvent donc se reporter facilement au texte intégral du décret :

- pour exercer la surveillance médicale des travailleurs DATR (catégorie A ou B) le service de médecine du travail de l'entreprise extérieure (ou le service inter-entreprises auquel elle adhère) doit être habilité par la DRTE ou le service régional de l'inspection médicale du travail ;

¹ Je renvoie le lecteur à mon rapport 1993 et plus particulièrement aux pages 221s. et 252.

² La définition de l'entreprise extérieure résulte de l'article R 237-1 du code du Travail, tel que rédigé par le décret 92-158 du 20 février 1992.

- le service de médecine du travail ne peut être habilité que s'il emploie des médecins ayant suivi une formation spéciale, dont le contenu sera fixé par arrêté, qui bien entendu peuvent seuls exercer la surveillance médicale ;
- le temps minimal consacré par ces médecins aux travailleurs DATR est augmenté : une heure par mois pour 5 salariés ;
- le service de médecine du travail de l'exploitant a la possibilité d'exercer lui-même la surveillance médicale si le service de l'entreprise extérieure n'est pas habilité ; cette éventualité doit faire l'objet d'un accord entre les deux chefs d'entreprise, qui doit être transmis à diverses personnes ;
- les médecins du travail de l'exploitant assurent l'évaluation de l'exposition interne des travailleurs des entreprises extérieures et transmettent les résultats aux médecins du travail de celles-ci ; ils sont également compétents en situation accidentelle, pour donner les "premiers soins".

Après un passage par les instances officielles compétentes (Conseil supérieur de la Prévention des Risques professionnels, Commission nationale d'Hygiène et Sécurité du Travail en Agriculture, Commission interministérielle des Installations nucléaires de Base, Conseil d'État), le décret a été publié au Journal Officiel du 15 février dernier.

Pour préparer et accompagner ce mouvement, EDF a lancé une expérimentation sur 6 sites nucléaires (Gravelines, Chinon, Saint Alban, Bugey, Tricastin, Cattenom), afin de connaître l'incidence des nouvelles dispositions envisagées sur l'organisation et la charge de travail des services médicaux. Le cahier des charges de cette opération a été préparé par un groupe de travail du Service général de Médecine du Travail d'EDF. Ce groupe de travail avait été créé initialement à la fin de l'année 1993 pour examiner les conséquences pour EDF de l'application du décret du 20 février 1992 *"fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure."* L'expérimentation d'EDF s'est effectuée en liaison avec les Directions régionales du Travail et de l'Emploi.

L'évolution amorcée par le décret du 13 février 1997 doit à mon sens être complétée, comme je l'ai déjà demandé dans mes précédents rapports, par le développement d'un fichier et d'un réseau informatique qui permettraient, en temps réel, de trouver le médecin du travail de tout salarié, de tracer l'historique de son suivi médical, de savoir où trouver l'ensemble du dossier médical de l'individu. J'ai déjà dit en 1993 que la médecine du travail devra savoir trouver les outils qui lui permettront de s'adapter aux évolutions profondes du travail dans notre société, en particulier la mobilité professionnelle et géographique plus importante, et l'essor de la précarité. Face à la mobilité des hommes, la mobilité des informations serait un atout pour la médecine du travail.

Les nouvelles dispositions régissant la médecine du travail pour les postes sous rayonnements pourront peut-être contribuer à suppléer les carences persistantes de la carte de suivi médical, qui n'a jamais eu l'efficacité escomptée.

1.1.2 La carte de suivi médical n'a pas encore surmonté certaines de ses carences

Dans son rapport de mars 1995, le groupe de travail constitué par le CSSIN sur « la radioprotection des travailleurs des entreprises extérieures » a donné une présentation claire et complète de la problématique sous-jacente à la carte de suivi médical. Je ne peux que m'en inspirer largement ici.

Prévue par l'article 40 du décret du 2 octobre 1986 sur la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants, la carte de suivi médical a été instituée par l'arrêté du 31 juillet 1991. Elle vise à attester que son titulaire bénéficie d'une surveillance médicale spéciale en relation avec son exposition aux rayonnements. Elle est remise par le médecin du travail à tout travailleur DATR de catégorie A. Du fait de son enregistrement au niveau national à l'OPRI, elle permet normalement d'assurer la traçabilité du suivi médical du salarié.

Deux difficultés sont imputées à la carte de suivi médical sous sa forme actuelle :

- la carte porte un numéro d'ordre qui n'est pas lié de façon univoque au titulaire ; le problème vient du fait que la carte doit être validée tous les 6 mois dans le cadre des visites médicales spéciales destinées à tout travailleur de catégorie A, mais a une durée de validité de 3 ans seulement ; dans ces conditions, le numéro d'ordre de la nouvelle carte change, faisant ainsi reposer sur un acte de gestion nouveau effectué à l'OPRI (correspondance entre les numéros d'ordre et l'individu) la continuité de la trace du suivi ;
- la carte est constituée de deux volets : l'un destiné au titulaire, qui comporte notamment le numéro d'ordre, la date d'expiration, des informations sur l'identité du titulaire et les mentions relatives aux différentes validations semestrielles effectuées par le médecin du travail ; le second volet — qui ne comporte pas les renseignements relatifs aux validations semestrielles — doit être retourné à l'OPRI pour enregistrement ; dans les faits une très faible proportion de ces volets a été retournée ; c'est ainsi la validité même du principe de l'enregistrement national qui est battue en brèche, sans pour autant que cela signifie un mauvais suivi par le ou les médecins.

L'OPRI m'a informé que des évolutions positives ont eu lieu. Tout d'abord le décret n° 96-1108 du 17 décembre 1996 a autorisé l'OPRI à utiliser le répertoire national d'identification des personnes physiques (autrement dit : le numéro de Sécurité sociale) dans une banque de données informatisée destinée à améliorer la surveillance de certaines personnes exposées aux rayonnements. Un projet lancé récemment par le Ministère du Travail viserait à développer une carte à puce pour le suivi médical, qui permettrait aux travailleurs, au médecin du travail et aux personnes autorisées d'accéder rapidement à toutes les informations utiles. Ce projet doit être mené à son terme avec rapidité.

Par ailleurs le retour des cartes de suivi médical s'effectue de mieux en mieux : près de 78 000 volets avaient été retournés à l'OPRI à fin décembre 1995, près de 102 000 y sont retournés à fin décembre 1996 (ces chiffres concernent les stocks et non les flux). En attendant la mise en place du fichier informatisé de suivi médical, il

conviendrait que l'OPRI utilise l'autorisation récente qui lui a été accordée pour porter sur la carte de suivi médical le numéro complet de Sécurité sociale et éviter les changements de numéro d'ordre tous les 3 ans.

1.1.3 L'Association des médecins du travail du nucléaire amorce une action de fond

La création d'une association des médecins du travail de l'industrie nucléaire était au coeur des préoccupations des médecins du travail d'EDF depuis quelques années. C'était d'ailleurs l'un des objectifs inscrits au Livre blanc de la Radioprotection, rédigé par le Comité de Radioprotection d'EDF en 1993.

L'association a été enregistrée au Journal officiel du 13 septembre 1995. Elle remplace en l'élargissant l'ancienne Commission DATR qui avait établi un premier contact entre les médecins du travail d'EDF et certains services médicaux inter-professionnels, sous l'égide du SGMT et de l'Organisation professionnelle de Prévention du Bâtiment et des Travaux publics. La nouvelle association réunit les médecins du travail de l'ensemble des exploitants nucléaires et de leurs prestataires. Elle n'a pas vocation en tant que telle à renforcer l'efficacité du réseau de suivi pour les travailleurs extérieurs. Elle peut cependant contribuer par l'établissement de liens formels et informels à « mettre de l'huile » dans certains rouages, voire à mettre au point des initiatives communes allant dans le sens d'un meilleur suivi ou d'une meilleure prévention sur le poste de travail.

D'ailleurs, dans le cadre de cette association, les médecins du travail d'EDF ont entamé en 1996, en collaboration avec leurs collègues des entreprises prestataires, la rédaction de fiches d'activité en centrale nucléaire (FACN) qui décrivent les conditions de travail de certains postes ou métiers. Une dizaine de fiches ont été réalisées jusqu'ici : calorifugeur, échafaudeur, etc.

Les métiers cités ici font partie de ceux qui conduisent aux plus fortes expositions. L'action de prévention médicale et le suivi médical se doivent donc d'utiliser les outils de suivi dosimétrique, qui fournissent une contribution importante — mais pas unique — au jugement du médecin sur l'aptitude du salarié.

1.2 L'exhaustivité du suivi dosimétrique a franchi une nouvelle étape

1.2.1 La pression de la Commission européenne s'est faite de plus en plus insistante

La directive 90/641 EURATOM du 4 décembre 1990 "concernant la protection opérationnelle des travailleurs extérieurs exposés à un risque de rayonnements ionisants au cours de leur intervention en zone contrôlée" impose que "chaque État membre veille à ce que le système de surveillance radiologique donne aux travailleurs extérieurs une protection équivalente à celle dont disposent les travailleurs employés à titre permanent par l'exploitant" (art. 4.1).

Il s'agit de l'objectif final que doit atteindre l'État membre, et pour lequel il est libre de retenir les moyens appropriés. Il s'agit également du résultat auquel la

Commission estime devoir juger qu'un État membre respecte ou non les termes de la directive.

Par ailleurs la directive fixe les moyens applicables pour répondre à l'objectif fixé à l'article 4.1 :

- l'État membre peut faire appel à un réseau national centralisé ou à un "*document individuel de surveillance radiologique*" délivré à chaque travailleur extérieur ;
- le document de surveillance radiologique est obligatoire pour les travailleurs extérieurs transfrontaliers ;
- ces dispositions sont valables à titre transitoire, en attendant "*l'établissement d'un système uniforme au niveau communautaire dans le domaine de la protection radiologique des travailleurs extérieurs, tel qu'un réseau informatisé*".

Suite à des échanges de courrier pendant l'année 1994, la Commission européenne adresse une mise en demeure à la France le 19 janvier 1995. La Commission considère que la France n'a pas procédé dans les délais à la transposition de la directive ⁽³⁾, en particulier pour ce qui est de ses articles 4, 5, 6 et annexe 1, c'est-à-dire en fait l'essentiel de la directive. Le gouvernement français répond par le biais d'une note transmise par le CTI à notre représentation permanente auprès de l'Union européenne, datée du 24 mai 1995, enregistrée à la Commission le 31 mai. La position des autorités françaises telle que traduite dans la note fait apparaître les points suivants :

- à titre général, la situation des travailleurs extérieurs doit être appréciée à l'aune de l'ensemble des dispositions régissant la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants ;
- la carte de suivi médical est complémentaire du registre dosimétrique central installé à l'OPRI ; elle ne le remplace pas et n'a pas vocation à reprendre toutes les informations qui sont portées dans ce registre ;
- les dispositions réglementaires actuelles permettent de gérer correctement la surveillance radiologique des travailleurs extérieurs, même en cas de durée d'intervention inférieure à la durée normale d'utilisation du dosimètre réglementaire (1 mois) ;
- l'exigence de formation et d'information est parfaitement remplie par les dispositions réglementaires existantes ;
- la responsabilité de l'entreprise en matière de suivi de la dosimétrie et de respect des limites de dose est exercée au travers de la médecine du travail ;
- le suivi dosimétrique des travailleurs est assuré par l'échange d'informations entre les divers médecins du travail ; par ailleurs "*s'agissant précisément de la*

³ C'est à dire avant le 31 décembre 1993.

protection opérationnelle, c'est-à-dire de l'évaluation des doses afférentes à chaque affectation ou poste de travail, les exploitants nucléaires et leurs prestataires de services ont développé avec l'aval des pouvoirs publics deux systèmes de dosimétrie électronique dénommés DOSINAT et DOSIMO qui permettent en temps réel d'apprécier le coût dosimétrique des différentes tâches ; alors que les autorités de notre pays n'avaient de cesse de dénoncer le caractère pernicieux de DOSINAT et DOSIMO, les voilà qui se retranchent derrière cette initiative de l'exploitant pour justifier de leur carence auprès de la Commission ! quant à évoquer *"l'aval des pouvoirs publics"*, c'est solliciter fortement une réalité moins amène ;

- les plans de prévention font partie des documents communiqués au médecin du travail ;
- les travailleurs indépendants bénéficient, dès lors qu'ils interviennent en zone contrôlée, de toutes les mesures de protection mises en place sous la responsabilité de l'exploitant, notamment du suivi dosimétrique.

Remarquons que, dans les tout premiers paragraphes, les auteurs de la note n'hésitent pas à écrire que *"la France, consciente de ses responsabilités tant à l'égard de la Communauté européenne de l'Énergie atomique que des travailleurs concernés, a développé une législation et une réglementation répondant en tous points aux objectifs de la directive et permettant d'assurer dans d'excellentes conditions la protection opérationnelle de toutes les personnes appelées professionnellement à intervenir en zone contrôlée."* En voilà au moins quelques uns qui n'ont pas lu le rapport 1993 de l'Office parlementaire, ni les rapports du CSSIN, ni les nombreuses coupures de presse parues depuis le début des années 90...

La Commission ne s'estime pas satisfaite de cette réponse. Elle adresse le 16 juillet 1996 un avis motivé aux autorités françaises, qui estime désormais que *"la France a manqué aux obligations qui lui incombent"* en vertu de la directive. C'est la dernière étape avant la traduction devant la Cour de Justice. La France a deux mois pour répondre. La Commission ne retient plus que trois griefs :

- la fréquence des contrôles dosimétriques est inadéquate : les moyens réglementaires invoqués par la France relèvent de procédures d'exception, qui de surcroît ne visent que des expositions accidentelles importantes ; de plus *"les deux systèmes de dosimétrie DOSINAT et DOSIMO, qui sembleraient assurer une meilleure transposition, bien qu'utilisés uniquement dans l'industrie nucléaire, sont dépourvus de bases légales et de ce fait ne peuvent constituer une transposition suffisante de la directive"* ;
- la carte de suivi médical ne porte pas toutes les données prescrites par la directive, non plus que le dosimètre tel qu'il est défini dans les textes français ; *"ainsi la libre circulation et la protection radiologique des travailleurs extérieurs ne sont pas garanties parce que l'exploitant ne dispose pas des données dosimétriques qui sont nécessaires préalablement à toute intervention en zone contrôlée, selon le système instauré par la directive"* ;

— les obligations incombant, au regard de la directive, aux travailleurs indépendants opérant en zone contrôlée n'ont pas fait l'objet de transposition.

Pour ce qui est des travailleurs indépendants — dont au demeurant le nombre réel doit être extrêmement faible — tous les acteurs français s'accordent à juger qu'ils posent un problème juridique très épineux. La France a sondé la Commission pour savoir si elle considère comme obligatoire la prise en compte des travailleurs indépendants dans la réglementation nationale. Il semble qu'un compromis puisse être trouvé sur cette question.

Il apparaît ainsi que pour la Commission le système de surveillance doit pouvoir fonctionner pour toutes les expositions (et au premier chef les expositions normales), sur une base routinière, en temps réel, et être placé directement sous le contrôle des autorités. De plus le travailleur doit être accompagné d'un document qui porte ses relevés dosimétriques. Ce document est à présenter avant et doit être mis à jour après toute intervention, sous la responsabilité de l'entreprise extérieure et de l'exploitant. Ce système est totalement à l'opposé des solutions retenues par la France depuis des lustres.

Le Ministre des Affaires sociales a répondu à la Commission dans le délai imparti de deux mois. La Commission a indiqué dans une lettre du 11 décembre 1996 sa volonté de poursuivre le contentieux en l'absence d'éléments réellement nouveaux. Il semblerait que des rencontres « informelles » aient conduit à un cessez-le-feu de quelques mois, le temps que nos autorités puissent mettre au point des projets de texte suffisamment crédibles au regard de leur adoption intérieure et de leur acceptation par les instances européennes.

Une spécificité française par rapport à nombre de nos collègues européens tient à l'obligation légale d'une médecine du travail. La Commission est prête à tenir compte de cette particularité mais ne veut pas que la France s'abrite derrière la médecine du travail pour bloquer toute transposition complète de la directive.

C'est alors que DOSIMO entre en scène...

1.2.2 DOSIMO obtient la consécration... sous conditions

DOSIMO, système informatique de cumul de doses conçu sur la base du DOSINAT d'EDF et géré par le GIIN (Groupement intersyndical de l'Industrie nucléaire), a été testé avec succès pendant l'année 1996. Il a fait l'objet d'un « marché » conclu après de longues négociations, le 2 décembre 1996.

Un protocole passé entre les exploitants nucléaires et l'OPRI confie l'administration du système à l'OPRI. Pendant une période transitoire de 2 ans, le développement, la gestion et l'exploitation de DOSIMO seront assurés sous la responsabilité d'un « groupe de direction » composé de 6 membres représentant les différents signataires du protocole. Le GIIN apportera son assistance technique à l'OPRI suivant des modalités qui restent à définir.

Bien que la CNIL ait donné une autorisation de conservation des données dosimétriques portant sur 5 ans, le protocole prévoit que les données du système DOSIMO

ne seront utilisées, pour la durée de la période transitoire, que pendant 12 mois. La période transitoire est conçue pour apporter la preuve que le système n'est pas contraire à l'intérêt des travailleurs et que les craintes de « gestion de l'emploi par la dose » sont injustifiées.

D'après J.L. PASQUIER, directeur scientifique de l'OPRI, on est actuellement dans la phase de transfert effectif de gestion entre le GIIN et l'OPRI. Il convient de demander une extension de l'autorisation donnée par la CNIL, ce qui devrait pouvoir être fait d'ici la fin du premier semestre. D'ici là DOSIMO ne peut être utilisé par personne.

Ainsi on a fini par accepter de faire entrer le loup DOSIMO dans la bergerie de la dosimétrie réglementaire ; pour arriver à ce résultat surprenant il a bien fallu accepter certains compromis et faire taire certaines positions de principe... En fait tout le monde peut y trouver son compte :

- les autorités françaises espèrent échapper en partie aux foudres de la Commission par le biais de la « réglementation » de DOSIMO ; il s'agira surtout de « faire semblant » d'avoir un système officiel performant et répondant aux critères de la Commission ;
- les exploitants et employeurs ont donné un statut officiel donc un brevet de respectabilité à un système techniquement performant et qui prévoit normalement la communication des résultats dosimétriques à l'exploitant et à l'employeur ; reste désormais pour eux à le faire reconnaître comme le seul bon système, c'est-à-dire celui grâce auquel l'administration pourra juger du respect ou du non respect des obligations réglementaires en matière d'exposition professionnelle ⁽⁴⁾ ;
- réciproquement les milieux médicaux, qui ont si longtemps tempêté contre la dosimétrie électronique informatisée version DOSINAT et DOSIMO, ne sont certainement pas fâchés de contraindre leurs promoteurs au dialogue, à la négociation, et pourquoi pas à certaines conditions qui pourraient remettre en cause l'accès des employeurs aux données dosimétriques ; la stratégie consiste ici aussi à se rapprocher de l'adversaire pour mieux l'étouffer.

Le protocole GIIN-OPRI est un pas vers la satisfaction de l'une des recommandations du CSSIN, dans son avis du 25 mars 1995. Je ne crois pas pour autant qu'il marque la fin de la guerre de tranchées. J'ai plutôt tendance à penser que la ligne de front s'est simplement déplacée.

⁴ En fait point n'est besoin que le Dosimo nouveau soit reconnu comme *seul* système valable. Il suffit qu'il soit reconnu tout simplement. Dans le rapport d'activité pour 1996 du Comité de Radioprotection d'EDF, il est écrit que *"ce processus marque une étape importante dans l'évolution des conceptions de la dosimétrie ; la dosimétrie réglementaire et la dosimétrie opérationnelle deviennent ainsi officiellement complémentaires."* Elles étaient déjà complémentaires, dans des « densités » juridiques différentes. Elles sont aujourd'hui quasiment sur le même plan, et c'est là toute la différence.

1.2.3 L'avenir des deux systèmes de dosimétrie devient soudain plus flou

Sous réserve de l'approbation de la CNIL — qui ne devrait pas poser de problème essentiel — coexistent donc désormais deux systèmes placés sous l'administration de l'OPRI :

- le fichier de la dosimétrie réglementaire d'une part, constitué sous l'unique responsabilité de l'OPRI à partir des résultats dosimétriques donnés par les films fournis par l'OPRI ou les résultats fournis par les exploitants habilités à effectuer eux-mêmes le suivi réglementaire de leurs employés ;
- le fichier DOSIMO, alimenté par les résultats de la dosimétrie électronique déversés périodiquement par les exploitants à partir de leurs fichiers propres.

L'avenir de cette dualité reste incertain mais ne devrait pas beaucoup s'écarter des deux options suivantes :

- soit les blocages persistent au sujet de la transmission des données de la dosimétrie réglementaire à l'employeur, auquel cas les deux fichiers auront une vocation légitime à conserver leur autonomie ; la position de l'OPRI deviendrait cependant difficile — elle l'est déjà aujourd'hui mais dans une situation que tout le monde considère comme transitoire, il me semble : quelle est la nature exacte des « garanties » déontologiques que l'OPRI est censé apporter à la gestion de DOSIMO ? *a priori* ce genre de garantie ne découle pas de la nature du gestionnaire mais des critères retenus pour la communication des données ;
- soit les blocages sont surmontés, auquel cas la fusion des deux fichiers est inéluctable ; on se dirigerait ainsi vers un système de dosimétrie unique, utilisant — en particulier pour les besoins du court terme — le système électronique et doublé par une autre technique ; une seule des deux valeurs devrait être conservée à des fins d'archivage ;

Tout dépend donc de l'évolution des positions autour de la querelle franco-française du secret médical, de la communication des données dosimétriques à l'employeur et du risque de gestion de l'emploi par la dose. Dans aucune de mes missions à l'étranger je n'ai trouvé de paranoïa aussi aiguë sur cette question : l'absence de médecine du travail y simplifie les termes du débat, et je n'ai pas entendu dire qu'il y ait beaucoup plus de « gestion de l'emploi par la dose » que dans notre système gaulois.

Or c'est bien cette idée qui sous-tend un projet récent du Ministère du Travail, motivé par la protection des travailleurs précaires.

2. LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS A EMPLOI PRECAIRE CONTINUE DE SUSCITER DES POLEMIQUES

Si les débats sont vifs pour la protection des travailleurs extérieurs du nucléaire, ils le sont plus encore lorsqu'il s'agit de travailleurs relevant d'un contrat de travail

précaire : CDD, contrat à durée de chantier ou intérim. Le début des années 90 a vu monter les tensions, sous l'effet de plusieurs études qui viennent heureusement nourrir le débat d'éléments concrets. Dans ce contexte, le récent projet du Ministère du Travail, visant à interdire l'entrée des zones contrôlées aux CDD et aux intérimaires, soulève à nouveau les passions.

2.1 L'enquête STED nourrit le débat sur les « intermittents du nucléaire »

2.1.1 L'enquête STED est un premier pas vers une approche plus cognitive et moins émotive de cette délicate question

Conduite en 1993, l'enquête STED (Sous-Traitance EDF DATR) visait à la connaissance précise des conditions de travail et de vie qu'entraîne le travail en sous-traitance dans le secteur de la production d'électricité d'origine nucléaire et l'analyse des éventuelles répercussions sur la santé physique et psychique des salariés prestataires. L'enquête a été menée sous la responsabilité scientifique de N. SANDRET, médecin inspecteur régional du travail ; D. HUEZ, médecin du travail au CNPE de Chinon, F. DERRIENIC, épidémiologiste à l'INSERM, G. DONIOL-SHAW, ergonome au CNRS, E. IMBERNON, médecin du travail, épidémiologiste à EDF, H. SURRIBAS, médecin du travail à Bourgueil ont effectué l'analyse qualitative des données de l'enquête. G. DONIOL-SHAW et D. HUEZ ont assuré la rédaction d'un ouvrage qui présente à un large public les résultats de l'enquête ⁽⁵⁾.

Ce travail est le fruit d'une importante collaboration entre chercheurs, médecins du travail et responsables des questions de santé et de travail dans les administrations concernées. 2500 questionnaires ont été recueillis et analysés. Plus de 140 médecins du travail ont participé à l'enquête et continuent d'assurer le suivi des salariés formant la cohorte étudiée. Les promoteurs souhaitent en effet permettre la reproduction d'une enquête équivalente, sur la même population, en 1998, afin de suivre l'évolution de l'état de santé en fonction des conditions de travail et de vie.

Je ne peux bien évidemment reproduire ici la substance même de l'enquête STED. Je préciserai simplement les grands points autour desquels elle s'ordonne :

- la description de la population étudiée : effectifs par sexe et catégorie professionnelle, âge, effectifs par activité professionnelle, contrat de travail, situation maritale, formation, habilitation DATR, durée du travail salarié, ancienneté dans l'entreprise ou dans le type d'activité ;
- conditions de travail : expérience du travail réalisé lors de la dernière intervention sur site, contraintes de travail (physiques et d'environnement), horaires de travail, contraintes des rythmes de travail, vécu des rythmes de travail, relations dans le travail, intérêt du travail, conditions de réalisation du travail, vécu du travail, rapport au risque radiologique et aux contraintes liées à la sécurité ;

⁵ G. DONIOL-SHAW, D. HUEZ, N. SANDRET, *Les intermittents du nucléaire. Enquête STED sur le travail en sous-traitance dans la maintenance des centrales nucléaires*, OCTARES Éditions, Toulouse, 1995.

- conditions de vie : chômage indemnisé, activité dans les 3 mois précédant l'enquête, conditions de logement, vécu familial ;
- santé et travail : santé générale et nombre de consultations depuis 3 mois, accidents de circulation, arrêts de travail, consommation de médicaments, morbidité, sommeil, fatigue nerveuse et anxiété, symptomatique dépressive ;
- représentativité et limites de l'échantillon ;
- synthèse des résultats : précarité du statut contractuel de l'emploi, des qualifications et des collectifs de travail ; déplacements professionnels ; contraintes horaires, contraintes de rythme de travail, vie familiale et santé physique et psychique ; contraintes physiques, moyens de travail, vie familiale et santé physique et psychique ; vécu subjectif du travail, santé psychique (sommeil, fatigue, anxiété) et vécu familial ; conditions de la sous-traitance de la maintenance et sûreté des installations ; exposition et rapport aux risques radiologiques ; incidences spécifiques du travail sur la santé psychique.

Au risque de présenter une vision trop sommaire, aux yeux de ses auteurs, je me hasarderai à faire une synthèse de la conclusion, qui présente les principaux enseignements de l'étude :

- la proportion de salariés sous statut précaire est plus forte que dans l'ensemble des emplois salariés (masculins) du secteur privé ;
- cependant *"la précarité du statut de l'emploi ne paraît pas [être] le déterminant principal en matière de santé [...] ; les conditions spécifiques au travail en sous-traitance nucléaire semblent en effet surdéterminantes et pèsent ainsi sur les salariés prestataires par delà leurs différences de statut contractuel"* ;
- le caractère prescriptif du travail et le contrôle hiérarchique ne semblent pas peser négativement ; la contrainte principale pour les travailleurs vient plutôt du respect des règles de sécurité ; la question se pose de leur compatibilité avec les fortes contraintes temporelles observées par ailleurs ⁽⁶⁾ ;
- en tout état de cause une partie des contraintes organisationnelles et l'ensemble des contraintes temporelles *"se surajoutent aux contraintes du « nomadisme », qui touche plus de la moitié des prestataires, pour fragiliser leur santé"* ;
- l'état de santé physique *"ne semble pas sensiblement éloigné de celui observé dans le cadre d'autres enquêtes portant sur des populations moins spécifiques sur le plan des activités professionnelles"* ; au demeurant l'enquête *"met en évidence des liens propres aux conditions de travail dans la maintenance nucléaire"* : affections rachidiennes, troubles digestifs ;
- la population de l'enquête est, dans son ensemble, *"plus fragilisée"* au plan des indicateurs de santé psychique, sans que ceux-ci ne soient liés au type

⁶ Mais il ne semble pas que l'enquête STED tranche sur ce point.

d'activité professionnelle ; leurs déterminants apparaissent liés au travail mais aussi aux conditions de vie qu'il entraîne (vie professionnelle, vie familiale) ;

- la constitution ou l'absence de "solidarités" dans le travail ont un fort impact sur la santé psychique de la population ; de façon générale, les facteurs collectifs de l'appropriation du travail (solidarités, etc.) ont un impact plus fort que les facteurs individuels (utilisation du savoir faire, intérêt du travail, moyens d'effectuer un travail de qualité, etc.) ;
- *"l'enquête ne permet pas de savoir, aujourd'hui, s'il y a des effets excluants du travail en lien avec cette atteinte à la santé, que ces effets soient « volontaires », les salariés quittant cette activité, ou « involontaires », l'état de santé des salariés les rendant inaptes au travail".*

Je reproduis enfin *in extenso* les tout derniers paragraphes de l'ouvrage, qui emportent mon adhésion la plus totale. *"Du point de vue de la santé publique, les transformations majeures des conditions d'exercice de l'activité professionnelle, concernant tant le statut de l'emploi que les conditions de l'organisation du travail, ne se sont pas encore vraiment traduites par l'apparition ou le développement de nouvelles recherches épidémiologiques, notamment pour ce qui concerne l'organisation du travail. Les quelques travaux réalisés concernent en effet essentiellement l'étude des modifications des indicateurs de santé mentale ou de bien être psychologique sur de courtes périodes et, principalement, dans le cadre de la perte ou du retour à l'emploi. Or, les transformations actuelles du travail semblent d'abord être celles de son organisation : flexibilité des horaires, spécialisation des entreprises dans le cadre de la sous-traitance et, simultanément, concurrence entre elles sur les délais, les coûts, induisant l'obtention de marchés, de moins en moins locaux, pesant sur les déplacements des salariés, fragilisant les collectifs de travail, sans cesse recomposés, et les apprentissages professionnels... Le manque de connaissances scientifiques sur les effets de ces transformations sur la santé des salariés est probablement un frein pour toute politique de prévention et d'amélioration de la santé des populations au travail et peut-être plus largement encore si l'on songe aux transformations induites sur la vie familiale."*

"L'enquête STED a permis une approche de ces questions. Celle-ci a été possible notamment par le fait que la population concernée fait l'objet d'un suivi médical particulier, en raison de l'exposition aux rayonnements ionisants. Des recherches semblables devraient être conduites dans d'autres secteurs, comme celui de la chimie par exemple, où l'on sait que les risques sont au moins aussi importants sinon plus et où, comparativement, les moyens de contrôle sont plus faibles."

J'avais dit dans mon rapport 1993 qu'il convenait de réfléchir aux travailleurs extérieurs du nucléaire en ayant à l'esprit la nécessaire généralisation de ces réflexions au reste du monde du travail, compte tenu de la tendance croissante à la fragmentation marchande des relations de travail. La conclusion de l'enquête STED conforte ce point de vue.

2.1.2 L'enquête STED a cependant suscité une émotion mobilisatrice

Conduite de mai à novembre 1993, l'enquête STED commence à livrer bientôt ses premiers résultats. Mme THEBAUD-MONY, qui avait participé à l'audition du 23 novembre 1993 organisée par l'Office parlementaire, présente des conclusions partielles lors des XXIII^{èmes} Journées de médecine du travail (Besançon, 8 juin 1994). A ma connaissance la dépêche de l'AFP diffusée à cette occasion ne rencontre pas d'écho particulier dans la presse.

Au mois d'août 1994, B. DUPRAZ, directeur de l'Exploitation du Parc nucléaire, me fait parvenir à titre d'information une communication signée des principaux partenaires de l'enquête STED, assortie de ses propres commentaires. *"On y relève en particulier que : d'une part 81% de ces salariés bénéficient d'un contrat à durée indéterminée ; d'autre part le vécu au travail de ces salariés est plutôt positif : travail passionnant (87%), moyens pour faire du travail de qualité (78%), connaissance précise et complète des façons de travailler (86%), autonomie (87%) et responsabilité (86%), contrôle hiérarchique important (80%). Bien entendu la situation est perfectible, en particulier pour réduire les contraintes de rythme de travail. [...] Ces résultats sont donc beaucoup plus positifs que ne l'ont laissé croire certaines dépêches diffusées à l'issue du Congrès de médecine du travail de Besançon en juin dernier."*

L'enquête STED est officiellement publiée en février 1995. Chacun voyant midi à sa porte, elle se trouve au cœur d'un colloque organisé le 15 mars 1995 au Sénat par le Comité supérieur consultatif d'EDF (équivalent du comité central d'entreprise). Le Dr. D. HUEZ y fait état de certains résultats de l'enquête et juge que les *"fortes contraintes horaires"*, l'absence de *"temps de préparation"* paraissent *"peu compatibles avec les exigences propres à la sûreté"* ; par ailleurs *"la fatigue qui accompagne le cumul des heures"*, *"l'urgence des travaux à réaliser"* et *"l'absence de familiarité"* avec le site et l'équipe sur place *"soulèvent des interrogations sur la qualité du travail"*. Des indications sont également données sur les affections diverses dont souffrent les salariés de la maintenance nucléaire ⁽⁷⁾.

C'est le début d'une certaine montée en pression : le 17 mars *L'Humanité* publie un article intitulé « Nucléaire : la sous-traitance en question » ; le 1^{er} avril *Libération* stigmatise « la rude existence des nomades du nucléaire. Une enquête ministérielle dénonce les conditions de travail des intérimaires de l'atome » ; le 4 avril, G. DONIOL-SHAW répond aux questions de *L'Humanité* et annonce au journaliste que *"les agents [...] viennent de décider de mettre en place un syndicat représentatif de l'ensemble des interventions de maintenance"*.

Les choses sérieuses commencent sur le terrain. Le 19 mai 1995, à l'occasion de l'arrêt de tranche de Dampierre-4, *"devant une tente bleue et blanche, une centaine d'agents EDF haranguent les salariés non grévistes"* pour réclamer un rythme normal de travail, l'arrêt des heures supplémentaires, la fin des travaux postés et la création immédiate d'une centaine d'emplois. *"Nous ne voulons pas cautionner la surexploitation des prestataires privés"* explique M. BANON, délégué CGT, dont les propos sont

⁷ Les citations entre guillemets sont extraites de la dépêche AFP diffusée le 15 mars.

rapportés dans *Libération* ⁽⁸⁾. Mais on ne peut pas encore juger à la teneur de l'article si la grève se fait « contre » les sous-traitants ou avec eux.

Le mois d'août 1995 voit la publication de l'enquête STED aux éditions OCTARES, qui lui donne un plus large public. Cette publication fait l'objet d'une dépêche AFP (1^{er} août), d'un petit article de *Libération* (2 août), d'un passage sur RMC (2 août), d'un article dans *Infomatin* (12 septembre). La teneur de l'enquête donne lieu à quelques passes d'armes entre A. THEBAUD-MONY, G. DONIOL-SHAW et L. STRICKER, directeur délégué aux affaires techniques (EDF-EPN) lors de l'audition de l'Office parlementaire du 23 novembre 1995.

Le tournant du premier semestre 1996 voit une cristallisation des tensions. Le 6 mai 1996, l'ALERT (Association pour l'Étude des Risques du Travail), dont A. THEBAUD-MONY est présentée par l'AFP comme l'un des "porte-parole", dénonce la précarisation des travaux de maintenance : *"la sous-traitance en cascade, le travail précaire et la perte de continuité sur les sites mettent en question la sûreté nucléaire. Faudra-t-il un accident majeur pour que s'arrête cette course en avant collectivement suicidaire que constitue la quête sans fin des gains de productivité ?"* Dans un appel commun lancé "en commémoration de Tchernobyl", l'ALERT et les autres organisations participant à la conférence de presse — dont également l'association Santé et Médecine du Travail — réclament *"un statut collectif de tous les travailleurs du nucléaire qui garantisse à chacun un salaire décent et un emploi"*. Outre *"l'introduction de clauses sociales dans la réglementation des marchés de sous-traitance"*, les pétitionnaires revendiquent *"l'interdiction de la sous-traitance en cascade"*. Ils souhaitent également l'inscription des travaux de maintenance en centrale nucléaire, sous rayonnements, sur la liste des travaux dangereux interdits aux travailleurs temporaires, comme c'est le cas pour le déflocage de l'amiante.

C'est à l'occasion de la visite décennale de Chinon que *"les « nomades » se rebiffent"*, comme l'indique en titre *La Nouvelle République* dans son édition du 18 juin 1996. Trois cents salariés débrayent pendant 2 heures pour *"exprimer leur ras-le-bol. Activement soutenus par la CGT (très mobilisée sur le sujet) les salariés de la sous-traitance condamnent les contrats au forfait qui sont désormais la règle entre EDF et leurs employeurs. Selon eux, ces contrats entraînent des baisses importantes de salaires, la suppression des primes et la diminution des indemnités. Les intervenants dénoncent également la saisonnalisation et la compression des arrêts de tranche imposées par EDF dans un souci de compétitivité"* narre le journal qui donne ensuite la parole au directeur de la centrale. Il conclut en rappelant que *"aujourd'hui [les salariés du privé] réclament avec vigueur le respect des qualifications, la fin des « cadences infernales », l'abrogation des contrats au forfait et la reconnaissance d'un même statut pour tous les sous-traitants du nucléaire. Autour de ces revendications la CGT semble bien décidée à entamer une épreuve de force avec EDF. A Chinon l'enjeu de la révision décennale pourrait bien lui servir de levier."*

⁸ J.M. BERTRAND, « Grève anti-négriers dans le nucléaire. A Dampierre les agents EDF dénoncent les méthodes des sous-traitants », *Libération*, 5 juin 1995.

Une initiative récente du Ministère des Affaires sociales pourrait donner aux syndicats un levier autrement plus efficace.

2.2 L'interdiction éventuelle du travail précaire en zone contrôlée a fait rebondir le débat

2.2.1 Le Ministère de Travail propose d'interdire l'accès des CDD et des travailleurs intérimaires aux zones contrôlées

Le 22 janvier 1997, une page intérieure complète du journal *Le Monde* révèle au grand public que "Le gouvernement envisage d'interdire le travail précaire dans le nucléaire". *Le Monde* publie la teneur d'une « note d'orientation » préparée par les services du Ministère et adressée aux partenaires sociaux au mois de décembre 1996, dont j'avais eu par ailleurs connaissance. Coïncidence troublante, c'est ce même jour qu'est signée et publiée la Charte de Progrès passée entre EDF et ses entreprises sous-traitantes. Les deux messages vont s'entrecroiser pendant plusieurs jours.

L'information du *Monde* est reprise largement dans la presse. Elle passe au « 20 heures » de France 2, au journal de la nuit de France 3, *Libération* y va d'un provocant « Nucléaire : intérimaires, non merci », le *Quotidien du Médecin* consacre plusieurs colonnes à l'affaire tandis que l'AFP diffuse dépêches sur dépêches. La presse régionale (*Sud Ouest, La Presse de la Manche, Ouest France, etc.*) relaie également l'information, avec pour certains de ces titres un sondage en local des conséquences possibles et des réactions des intéressés.

La teneur de la note s'inscrit dans les priorités annoncées pour 1997 par J. BARROT, Ministre des Affaires sociales, lors de la séance du Conseil supérieur de la Prévention des risques professionnels du 6 février dernier. Il s'agit donc d'un engagement ministériel fort.

Sur le fond, la « note d'orientation relative à la modification prochaine des décrets de 1975 et 1986 » part du constat que certains éléments des débats de fond relatifs à la radioprotection sont demeurés en suspens, notamment les questions touchant à l'utilisation des données dosimétriques qui permettent de mesurer l'exposition externe des salariés aux rayonnements. La note se propose de "faire progresser ce dossier dans le sens d'un renforcement de la protection des salariés concernés". Elle s'articule autour de deux orientations majeures : une réglementation de la dosimétrie opérationnelle ; l'interdiction de l'accès des intérimaires à la zone contrôlée.

La réglementation de la dosimétrie opérationnelle est susceptible "d'améliorer la prévention des risques en apportant de réelles garanties du point de vue de la confidentialité des données qui en sont issues." Sur ce point — le plus sensible en fait dans le débat qui prévaut depuis des années — la note relève que :

- le rôle du médecin du travail n'a jamais été remis en cause : la communication de l'information dosimétrique nominative doit lui être assurée "afin de permettre au médecin de prendre le plus en amont possible toutes les initiatives relevant de sa vocation" ;

- la « personne compétente en radioprotection » (au sens de la réglementation actuelle) a besoin d'une information individuelle au niveau de l'intervention pour assurer l'optimisation de la radioprotection ⁽⁹⁾ ;
- enfin la note fait état d'un *aggiornamento* majeur de la position des autorités françaises au regard de la communication de données dosimétriques nominatives à des personnes autres que les médecins :

a/ *"il est clair, tant dans les textes français précités que dans la plus récente directive européenne (90/641 EURATOM), relative à la protection radiologique des travailleurs extérieurs, que la France doit transposer complètement, que la place de l'employeur en tant que responsable de la prévention dans l'entreprise est réaffirmée et que les dispositions de la directive impliquent nécessairement qu'il puisse accéder aux données dosimétriques lui permettant de vérifier le respect de ses obligations, par le truchement d'une personne compétente"* ;

b/ la communication des données serait désormais susceptible de se faire à la personne compétente, habilitée à cet effet par l'OPRI, charge à elle *"d'informer sans délai le médecin du travail lorsque les limites de dose sont susceptibles d'être atteintes"* ;

c/ l'inspecteur du travail n'est enfin plus négligé : *"dans une perspective de contrôle de l'application des mesures de prévention, l'inspecteur du travail pourrait accéder, également, à la dosimétrie opérationnelle"* ;

d/ sur la base d'une communication non nominative, le CHSCT devrait pouvoir juger de la politique d'ensemble menée en matière de prévention par l'entreprise.

On constate que dans les propositions du Ministère du Travail le verrou du secret médical a commencé à sauter. En ce sens, le combat des promoteurs de la dosimétrie dite « opérationnelle » n'aura pas été vain. Je remarque aussi que ce qui a posé tant de problèmes de principes et tant de joutes oratoires depuis de si nombreuses années — à savoir la communication de données dosimétriques à l'employeur — est aujourd'hui considéré comme *"clair"*. Je remarque enfin que la traduction dans les faits des points c/ et d/ ne sera jamais, avec plus de 20 ans de retard, que le respect de ce qu'avait voulu l'autorité réglementaire dans le décret de 1975 et que des lobbies puissants avaient réussi à écarter jusqu'alors.

Pour ce qui concerne plus particulièrement l'inspecteur du travail, il est tout de même piquant de constater que les rôles avaient été totalement renversés : EDF, exploitant, avait décidé de sanctionner les entreprises qui procéderaient à des licenciements abusifs pour cause de dosimétrie excessive, tout en proposant des solutions

⁹ A. OUDIZ, adjoint à la directrice déléguée à la protection (IPSN) estime que les données nominatives peuvent également participer de la politique d'optimisation. Cependant cette contribution n'est qu'assez indirecte et ne saurait justifier à elle seule une large diffusion des données nominatives, qui s'explique davantage par un souci d'équité dans la répartition des doses entre les agents.

aux salariés concernés ; l'inspecteur du travail se voyait quant à lui dépossédé de tout moyen d'exercer un contrôle sur le respect des règles d'hygiène et sécurité (dont les limites de dose) car la réglementation prévue n'avait pas été adoptée. Une fois de plus l'autorité de l'État était niée par l'État lui-même, et ses carences suppléées par un exploitant auto-investi — pour la bonne cause — d'une sorte de « pouvoir de police » ! Il était temps que l'on sorte enfin de ce système absurde.

Cette sortie reste cependant très partielle puisque l'information de l'inspecteur du travail est soigneusement cantonnée à la dosimétrie opérationnelle. Il faudra bien franchir le dernier pas et étendre cette disposition à la dosimétrie réglementaire. D'ailleurs je ne vois plus très bien quelle différence de statut juridique on pourra évoquer pour justifier un traitement différent entre la dosimétrie « opérationnelle réglementée » et la dosimétrie « réglementaire ». Plus la dosimétrie opérationnelle aura une valeur juridique forte, plus le maintien du secret médical autour de la dosimétrie réglementaire apparaîtra uniquement comme la crispation corporatiste et dépassée d'un lobby professionnel.

La deuxième orientation proposée par le Ministère découle de ce que *"une partie des partenaires concernés s'est inquiétée d'une « gestion de l'emploi par la dose » opérée par l'employeur. Celui-ci, en présence d'un salarié ayant atteint la valeur limite d'exposition aux rayonnements, pourrait être tenté de ne pas procéder à son embauche ou au renouvellement de son contrat."*

Notons que jamais les gestionnaires de DOSINAT et DOSIMO n'ont envisagé de communiquer des données dosimétriques individuelles nominatives à l'employeur *potentiel* d'un travailleur qui se présenterait à l'embauche. L'argument portant sur le renouvellement du contrat est en revanche recevable. On pourrait y ajouter celui de la rupture d'un contrat de travail en cours, bien que l'hypothèse soit plus difficile à mettre en oeuvre.

Les services du Ministère remarquent alors que *"une telle éventualité ne concerne — en réalité — que des salariés placés dans des conditions « précaires » en termes d'emploi (CDD ou intérimaires). C'est dans ce contexte qu'il convient d'évaluer les possibilités de mettre en place un mécanisme protecteur."* Les services tentent alors d'évaluer l'ampleur de la situation, en se fondant sur un rapport du Conseil scientifique de l'OPRI (juillet 1996), et de définir les parades envisageables :

- environ 600 travailleurs précaires seraient exposés à plus de 10 mSv par an sur les centrales EDF ; sur l'ensemble du secteur nucléaire, 800 intérimaires ne dépasseraient jamais 10 mSv par an ;
- la situation à l'égard des risques montre que *"ce sont sur les postes les plus exposés que se trouve le plus grand pourcentage d'emplois précaires (calorifugeages)"* ;
- de plus la durée annuelle du travail pour les CDD et les intérimaires est courte : moins de 6 mois pour respectivement 26% et 43% d'entre eux, moins de 9 mois pour respectivement 42% et 65% ; *"ces durées d'emploi devraient encore diminuer, notamment avec l'abaissement des valeurs seuils lors de la*

transposition de la directive européenne « normes de base » ; il me semble que, avec cette appréciation prospective, le Ministère part d'emblée du principe que la gestion de l'emploi par la dose est déjà largement prévalente.

Sur la base de ces constats, le Ministère s'interroge sur la pertinence et l'efficacité des mécanismes actuels de prévention des risques chez les *"travailleurs à courte durée"*. Il en déduit qu'il est souhaitable d'étendre l'interdiction d'emplois précaires aux travaux sous rayonnements ionisants, dans les zones contrôlées.

2.2.2 La note du Ministère a provoqué une puissante onde de choc

Dès l'annonce faite par *Le Monde*, les réactions s'organisent : dans un communiqué, FO rapporte *"l'émotion légitime"* des salariés concernés par le projet gouvernemental ; tout en soutenant le principe du projet, la confédération indique qu'il serait *"scandaleux d'opposer d'éventuelles menaces sur l'emploi, au demeurant précaire, à l'évolution d'une réglementation visant à une meilleure prise en compte de la santé et de la sécurité des salariés"*.

De leur côté les entreprises de travail temporaire montent au créneau. Sachant ma visite à Manpower nucléaire en novembre 1996, l'UNETT me demande un entretien pour me faire part de ses inquiétudes et sonder mes intentions. Les entreprises du Nord-Cotentin montent une conférence de presse où elles dénoncent *"une méconnaissance du sujet"* et un *"amalgame"* avec les CDD. Les deux organisations professionnelles (UNETT et PROMATT) rédigent fin janvier un questionnaire en 10 points que leurs adhérents certifiés CEFRI adressent à leurs intérimaires DATR ; le questionnaire demande (entre autres) si la mesure envisagée par le gouvernement leur paraît être une bonne chose. Ayant eu connaissance d'un exemplaire envoyé à un travailleur par Manpower, *Le Monde* a beau jeu de relever le caractère nominatif du questionnaire dans un article du 10 février... Le journal relève d'ailleurs un fait troublant : selon lui le questionnaire demande aux intérimaires s'ils ont bien reçu une formation à la radioprotection ; *"la question ne manque pas de surprendre : légalement, ⁽¹⁰⁾ seules les sociétés d'intérim bénéficiant du label du Comité français pour la certification des entreprises employant du personnel intervenant dans les installations nucléaires (CEFRI) sont autorisées à envoyer leurs agents en zone contrôlée. Lesdits agents doivent en outre avoir suivi un stage obligatoire baptisé « qualité-sûreté-prestataires » (QSP) assorti de remises à niveau régulières, pour intervenir en zone contrôlée."*

L'UNETT m'a indiqué, dans un courrier qui m'est parvenu ultérieurement, que *"pour ce qui concerne la question relative à la formation à la radioprotection, l'article du Monde sur ce point est très polémique et en décalage avec la motivation de cette question. En effet, cette question avait pour seul objet d'identifier les intérimaires intervenant en zone contrôlée, lesquels suivent obligatoirement cette formation, de ceux qui interviennent en centrale nucléaire mais en dehors de la zone contrôlée, en un lieu où ils ne sont pas susceptibles d'être exposés à l'action de rayonnements ionisants."*

¹⁰ En fait l'exigence de certification CEFRI-I pour les entreprises de travail temporaire résulte d'une décision d'EDF, à caractère purement privé.

"Nous comprenons toutefois que la question a pu surprendre puisque les interventions en zone contrôlée nécessitent obligatoirement une formation à la prévention des risques (PR), laquelle est contrôlée par EDF sur le site et bien évidemment par les auditeurs CEFRI lors des audits réguliers des entreprises de travail temporaire."

Quoi qu'il en soit, la formulation de la question incriminée m'apparaît particulièrement maladroite. N'aurait-il pas été plus simple de demander directement si le travailleur DATR avait travaillé en zone contrôlée ?

Sur le terrain les escarmouches continuent : à Bordeaux (11 février) une trentaine d'agents et prestataires de la centrale du Blayais demande audience au président du Conseil général ; à Thionville (12 février), deux prestataires du CNPE de Cattenom assignent la centrale devant le tribunal des prudhommes pour faire constater par le juge que leur véritable employeur est EDF ; en sens inverse, à Saint Laurent des Eaux (3 février), le CNPE fait savoir publiquement que deux salariés d'une entreprise prestataire ont été suspendus d'accès en zone contrôlée pour n'avoir pas porté l'un des deux dosimètres obligatoires, un agent de la centrale faisant l'objet de la même suspension pour le même motif ; d'habitude ce genre de décision n'est pas exposé sur la place publique...

2.2.3 La recherche d'une meilleure protection des salariés précaires ne nécessite peut-être pas une position aussi radicale

Dans ce sujet épineux le Ministère a choisi (ou plutôt « proposé ») la voie de la clarté : "mécanisme protecteur", l'interdiction supprime par définition à la fois le risque sanitaire et le risque de gestion de l'emploi par la dose. Il est vrai que, justement, il n'y a plus du tout d'emploi...

Cette politique repose sur deux croyances implicites :

- la « gestion de l'emploi par la dose » serait une réalité ; j'admire que seuls les Français soient avertis d'une atteinte aussi grave aux droits des travailleurs et je suggère à toutes ces personnes de bonne volonté de prévenir aussitôt les syndicats et les autorités des autres pays européens ; un phénomène aussi naturel et aussi grave doit à l'évidence être largement répandu en Europe et causer du tort à un nombre incalculable de travailleurs ; nous avons un devoir d'alerte ! plus sérieusement, je regrette de n'avoir jamais vu les contempteurs de la « gestion de l'emploi par la dose » présenter aux autorités compétentes le moindre dossier concret ; tout du moins je n'en ai jamais eu connaissance ; tout le monde parle de la « gestion de l'emploi par la dose » mais y a-t-il quelqu'un qui l'a rencontrée ? les chiffres de l'OPRI montrent que 600 personnes au maximum seraient *susceptibles* d'être concernées, au seul vu des doses reçues ; que devient l'emploi des 2400 autres travailleurs précaires ⁽¹¹⁾ ?

¹¹ Selon les chiffres mêmes fournis par les tableaux du Ministère, extraits du rapport de l'OPRI.

- les emplois précaires supprimés seraient remplacés — par la force des choses — par des emplois stables ; or rien n'est moins sûr : ce n'est pas l'interdiction du travail précaire qui va supprimer le caractère saisonnier des arrêts de tranche, donc le volume de travail offert par EDF sur ses centrales ; dans ces conditions, les entreprises de travail temporaire ont beau jeu de dénoncer les risques d'éclosion de formes occultes de précarité : l'administration aura moins de prise sur celles-ci, et les salariés auront une protection — radiologique, médicale et sociale — quasi nulle ; est-ce vraiment l'objectif du Ministère ?

Il convient à ce stade de noter un point d'ordre. Rien dans le texte du Ministère ne laisse supposer que sa proposition serait motivée à cause d'un biais, d'une distorsion, jouant en défaveur des travailleurs précaires vis-à-vis des CDI, *pour une tâche donnée*. L'enquête STED, non plus qu'aucune autre étude portée à ma connaissance, ne donne pas d'information sur la dosimétrie comparée, par spécialité professionnelle, entre les CDI et les statuts précaires. Cette information serait intéressante pour juger de la véracité de certains propos, suggérant que les intérimaires et autres CDD sont envoyés systématiquement sur les lieux les plus irradiants.

Les choses doivent donc être clairement affirmées : en l'état actuel des connaissances, les travailleurs précaires ne sont pas considérés comme "*surexposés*" (12) parce qu'ils recevraient plus de doses que leurs collègues à statut stable, à *titre individuel* ; ils le sont collectivement, *en tant que catégorie salariale*, parce qu'ils sont recrutés préférentiellement pour les tâches les plus exposées. Certes les doses annuelles moyennes reçues par les salariés, toutes catégories confondues, sont sensiblement équivalentes : 6,27 mSv pour les CDI, 5,99 mSv pour les CDD, 7,16 mSv pour les intérimaires (13) ; ceci pourrait être troublant. Ramenées à la durée du travail salarié dans l'année, ces doses montrent cependant une exposition réellement plus forte des travailleurs précaires, comme catégorie salariale, par rapport à leurs collègues sous CDI.

Les mécanismes de prévention des risques mis en oeuvre jusqu'ici ont-ils été inefficaces, comme l'indique le Ministère du Travail ? Je note qu'une orientation récente de la politique d'EDF a consisté à « cibler » les entreprises les plus exposées aux rayonnements. Lors de la réunion du 20 novembre 1996, L. STRICKER m'indiquait ainsi que 25 entreprises font plus de 90% des travailleurs exposés à plus de 20 mSv. EDF a augmenté la pression sur ces entreprises, à travers l'information renforcée de leurs responsables, la qualification (les entreprises qui feraient les efforts les plus importants seraient privilégiées dans les futurs contrats) et la contractualisation (détermination de doses cibles dans les marchés).

Pour sa part EDF tente de redéfinir sa politique commerciale au regard de ces impératifs : la division des marchés permet par exemple de retenir une même entreprise pour un marché de calorifuge dans le bâtiment réacteur et pour un autre sur le groupe turboalternateur. Une entreprise pourrait donc avoir un marché « chaud » et un marché « froid » de façon à répartir les doses reçues par ses agents selon le principe d'équité. Par ailleurs, l'entreprise serait sujette à un suivi spécial par l'UTO.

12 Selon les termes employés par le Ministère du Travail.

13 Source : enquête STED, repris dans le rapport de l'OPRI.

De leur côté les entreprises de travail temporaire qui ont fait l'effort d'obtenir la certification CEFRI-I peuvent légitimement s'estimer trahies par la proposition du Ministère, alors que la démarche de certification — certes poussée par les exigences d'EDF — est la preuve d'un engagement manifeste en faveur de la prévention et du suivi des travailleurs.

Dans son rapport de juillet 1996, le conseil scientifique de l'OPRI juge que *"les mesures mises en oeuvre par les exploitants avec l'aide des entreprises prestataires, qui ont rendu obligatoire la certification CEFRI des entreprises de travail temporaire et leur adhésion à une charte sur la qualité de la professionnalisation de leurs salariés, font qu'il ne paraît pas nécessaire de rajouter les travaux sous rayonnements à la liste de ceux concernés par l'arrêté du 8 octobre 1990 (14)."*

Je pense aussi qu'une telle mesure est excessive car ses effets pervers me paraissent véritablement dangereux. Pour autant, il ne me semble pas souhaitable de conserver le *statu quo* actuel.

Non pas que les mesures de protection et de prévention mises en oeuvre par les exploitants soient en elles-mêmes inefficaces, mais parce que les risques de polyexposition des travailleurs précaires sont réels et non gérés aujourd'hui.

2.2.4 Le risque de polyexposition à des agents cancérogènes est une véritable question pour la santé au travail des salariés à statut précaire

Le risque de gestion de l'emploi par la dose, risque social, me paraît être un arbre qui cache une forêt plus menaçante, dans le domaine du risque sanitaire. De nombreuses études ont montré — et cela ne semble être que très rarement contesté — que les travailleurs à statut précaire sont préférentiellement « bloqués » dans les métiers les plus dangereux. Il ne serait pas rare de voir tel travailleur, employé sur un chantier nucléaire, partir ensuite sur un chantier chimique et naviguer ainsi de risque en risque.

Or les limites d'exposition ne sont définies que pour gérer le risque d'exposition à un seul agent cancérogène. Les effets des expositions multiples ne sont jamais pris en compte dans la réglementation. Je ne parle pas ici des évaluations scientifiques des effets biologiques d'expositions cumulées (effet additif ? multiplicatif ? compensateur ?). Je parle tout simplement du phénomène suivant :

- considérons un travailleur exposé à une dose égale à la limite de dose annuelle, mais prenant cette dose sur 6 mois (par exemple) ;
- supposons que pendant les 6 autres mois il soit exposé à un autre agent cancérogène (amiante, benzène ou autre), et prenne également la limite de dose déterminée pour cet agent ;
- le travailleur, tout en ayant formellement respecté chacune des limites, aura cependant subi un risque sanitaire deux fois plus élevé.

¹⁴ C'est-à-dire l'arrêté fixant la liste des travaux dangereux interdits aux travailleurs précaires.

Le remède à cette situation est connu : il suppose de fixer une limite de dose au *prorata temporis* de la durée du contrat ⁽¹⁵⁾. On sait aussi que cette proposition, émise à l'été 1995 par le Ministère du Travail, a provoqué une levée de boucliers unanime de la part des exploitants et des employeurs, dont la position est retracée à la rubrique « Inconvénients » dans le rapport de l'OPRI. Parmi ces inconvénients j'en retiendrai deux :

- cette proposition durcirait encore la future réglementation issue de la CIPR 60 alors que la position des autorités françaises a toujours été de ne pas aller au-delà de la CIPR 60 ; en particulier cette proposition interdit toute souplesse dans la gestion des expositions ;
- contrairement à l'objectif recherché les employeurs seraient incités à exposer leurs travailleurs jusqu'au « crédit de dose » qui leur serait affecté.

Au premier argument, on peut répondre que la protection des personnels particulièrement fragiles requiert certainement des mesures de discrimination positive ; au demeurant la souplesse mise au crédit de la CIPR 60 a une vocation essentielle à être mise en oeuvre dans un cadre de travail stable. Au deuxième argument on peut répondre que l'on ne comprend pas très bien pourquoi les employeurs optimiseraient les expositions dans le cadre de la limite annuelle — ce qu'ils assurent faire aujourd'hui — et maximiseraient ces expositions si l'on considère une durée de quelques mois seulement.

De façon générale il est toujours surprenant de voir comment, lorsqu'on propose une quelconque modification réglementaire, les industriels se découvrent brusquement une si forte propension à détourner les règles futures alors même qu'ils assurent être éminemment vertueux pour respecter les règles courantes.

Assurément les travailleurs à statut précaire ne sont pas les seuls concernés par les polyexpositions. Tous les travailleurs opérant dans des secteurs d'activité distincts sont soumis à cette question. Une société comme Polinorsud par exemple a choisi de se développer dans deux secteurs d'activité : les travaux sous rayonnements et l'amiante. Les limites d'exposition appliquées tiennent-elles compte de cette conjugaison ?

La polyexposition des travailleurs aux facteurs de risques dans la santé au travail me paraît être un sujet de mobilisation, de réflexion et d'action autrement plus indispensable que le sort de quelques centaines de personnels sous statut précaire, dont personne n'a apporté la moindre preuve qu'ils sont « gérés par la dose » ⁽¹⁶⁾.

Les dispositions retenues par EDF (dé-saisonnalisation, soutien à la diversification des prestataires, pluriannualité des contrats, objectifs dosimétriques contractuels...), les possibilités légales d'étalement de la charge de travail sur l'année, l'engagement des

¹⁵ Ce qui repose d'ailleurs sur l'hypothèse implicite que les effets sont additifs et non multiplicatifs ou à combinaison encore plus complexe. Cependant un système de protection doit rester simple à gérer.

¹⁶ Car tout employeur peut à l'heure actuelle accéder à la dosimétrie de DOSINAT. Au demeurant je suis prêt à reconsidérer immédiatement ma position si la preuve de la gestion de l'emploi par la dose est apportée de façon convaincante.

industriels dans de réelles démarches de progrès sont des actions indispensables et bienvenues. Elles pourraient être utilement complétées par une protection réglementaire spécifique aux travailleurs précaires et pavant la voie à une meilleure protection pour les polyexpositions des travailleurs en général.

On me reprochera certainement de déplacer le sujet et d'esquiver la question de la précarité. Je ne dis pas que ma religion est faite. Je dis que, si les doses reçues par les travailleurs précaires sont bien, en tant que catégorie salariale, supérieures à celles de leurs collègues sous CDI, la situation n'en est pas pour autant apocalyptique. Je dis également que la question des travailleurs précaires est certainement moins délicate qu'on n'a bien voulu le faire croire, au regard de la gestion de l'emploi par la dose. Mais j'estime que les problèmes doivent être clairement posés : en particulier je ne comprends pas l'hypocrisie affichée, qui voudrait qu'un employeur ait besoin du prétexte de la dosimétrie pour ne pas renouveler un contrat arrivé à échéance. On sait hélas que les moyens ne lui manquent pas pour parvenir à ses fins par ailleurs. Malheureusement la précarité survivra à une éventuelle interdiction d'entrée en zone contrôlée.

Il faut savoir mener les bons combats.

CHAPITRE III

LE PROJET DE REACTEUR HYBRIDE DU PR. CARLO RUBBIA

En 1991 j'avais consacré de larges développements à ce qu'il était convenu d'appeler les « réacteurs du futur ». Ces chapitres s'ouvraient par quelques considérations générales sur le contexte international déterminant l'éventuelle construction de ces réacteurs. S'ensuivait une présentation exhaustive des projets en cours ou sérieusement envisagés, regroupés en fonction de leur filière technologique. Enfin la situation française était analysée, tant au regard de la stratégie des acteurs en présence que des calendriers prévisibles à l'époque.

Le paysage des réacteurs du futur a sensiblement évolué depuis la date de rédaction de ce rapport. Aux États-Unis les projets System 80+ (présenté par ABB-Combustion Engineering) et ABWR (*Advanced Boiling Water Reactor*, présenté par General Electric) ont obtenu de la *Nuclear Regulatory Commission* leur *Final Design Approval* en juillet 1994 et leur certification finale en décembre 1996, valable 15 ans ; cette certification générique ouvre la voie à la mise au point de projets concrets pour des électriciens qui seraient désireux de construire de nouvelles centrales — mais le contexte ne s'y prête guère à l'heure actuelle. Au demeurant le réacteur ABWR a quelque peu perdu son caractère de « réacteur du futur » puisqu'un premier exemplaire, construit par Toshiba sous licence de General Electric, est entré en service commercial en novembre 1996 à la centrale japonaise de Kashiwasaki-Kariwa exploitée par *Tokyo Electric Power*.

En matière de réacteurs de moyenne puissance, il faut remarquer l'abandon par General Electric du projet SBWR (*Small Boiling Water Reactor*) en mars 1996, la société arguant du manque de débouché prévisible pour cette catégorie de puissance ; en revanche Westinghouse poursuit la mise au point du réacteur AP-600, après un émoi sensible provoqué par l'annonce de son éternel concurrent. Le projet PIUS a également été mis sous cocon par ABB en janvier 1994.

De son côté le projet franco-allemand EPR (*European Pressurized Reactor*) poursuit sa mise au point laborieuse car entrecoupée de nombreux soubresauts « politiques ». On sait quelles inquiétudes le changement d'actionnaire majoritaire chez Framatome fait peser sur la poursuite de la coopération franco-allemande. On sait aussi les réticences publiques exprimées depuis plusieurs mois par les électriciens allemands relatives à des commandes futures de ce réacteur.

En fait la seule réelle nouveauté dans le paysage contrasté des réacteurs du futur consiste en la présentation à la fin de l'année 1993 par le Pr. Carlo RUBBIA, ancien directeur général du CERN, d'un projet de réacteur hybride destiné à produire de l'électricité de façon compétitive vis-à-vis des réacteurs actuels tout en apportant une contribution significative à la réduction de la radiotoxicité des déchets à vie longue.

Cette annonce n'est pas passée inaperçue. De nombreux journaux se sont faits l'écho de la « centrale propre et sûre ». Par ailleurs le projet recevait des autorités de notre pays une sorte de consécration officielle puisque le Pr. RUBBIA a été invité à en faire une présentation publique lors d'une conférence de presse donnée au Ministère de la Recherche. Du côté des milieux nucléaires en revanche l'accueil était plus modéré, voire assez hostile. En tous les cas l'initiative du Pr. RUBBIA ne laissait personne indifférent.

Depuis 1993 les choses ont quelque peu avancé : le projet RUBBIA a évolué et s'est affiné tandis que certains acteurs français ou étrangers se sont déclarés ouvertement intéressés par une participation plus active. La construction d'une machine pilote est aujourd'hui posée comme une nécessité par les promoteurs et les zéloteurs du projet. Tôt ou tard le pouvoir politique devra être amené à se prononcer, en tant qu'autorité de tutelle des organismes scientifiques concernés comme en tant que financeur des investissements requis.

Il n'aurait pas été concevable que l'Office parlementaire, interface privilégiée entre le monde politique et le monde scientifique et technique, reste à l'écart des débats qui se sont amorcés et qui appellent certainement des décisions prochaines. Dans le cadre de ma mission annuelle, et en accordant bien entendu une place privilégiée aux questions de sûreté, j'ai jugé légitime d'apporter une contribution personnelle. Sur un sujet comportant une si forte dimension scientifique et technique, donc ardu pour un parlementaire non issu du sérail, je sais fort bien les limites naturelles de l'exercice. A la lumière de mon expérience passée — y compris l'an dernier sur *"les fondements scientifiques de la révision des normes de radioprotection"* — je pense en savoir aussi l'intérêt.

A. LE PROJET DE REACTEUR RUBBIA S'INSCRIT CLAIREMENT DANS LA LIGNEE DES REACTEURS NUCLEAIRES « REVOLUTIONNAIRES »

Rappelons simplement que les projets de réacteurs « révolutionnaires » s'opposent classiquement aux projets de réacteurs « évolutionnaires », qui reprennent des techniques largement éprouvées en les améliorant ou en améliorant les systèmes qui les mettent en oeuvre. La plupart des projets de réacteurs du futur sont évolutionnaires puisqu'ils sont fondés soit sur la technique des réacteurs à eau pressurisée légère (projets APWR, EPR, AP-600) ou lourde (réacteurs canadiens CANDU) soit sur celle des réacteurs à eau bouillante (projet ABWR). La distinction sémantique peut parfois paraître trop réductrice : par exemple j'aurai tendance à dire que les réacteurs à neutrons rapides tels qu'actuellement conçus ne sont ni plus vraiment révolutionnaires, ni tout à fait déjà évolutionnaires... Il est vrai que certains considèrent qu'ils sont déjà dépassés !

1. LE REACTEUR RUBBIA FAIT APPEL A DES ELEMENTS FORTEMENT INNOVANTS

1.1 Les objectifs « politiques » du projet RUBBIA ont largement contribué à la définition des choix techniques essentiels

Le projet RUBBIA est né de la conjonction féconde entre une vision politique et une « fatalité » technique. La vision politique, c'est l'affirmation que les besoins énergétiques mondiaux continueront d'être assurés par l'énergie nucléaire, et dans une large mesure par l'énergie tirée de la fission des noyaux lourds. Dès sa première publication ⁽¹⁾ l'équipe RUBBIA écrit ainsi que *"les réacteurs nucléaires constituent une source majeure d'énergie utilisable et ils continueront vraisemblablement de l'être dans l'avenir prévisible. Cependant ils ne sont pas sans présenter des difficultés et des approches alternatives pour extraire l'énergie des noyaux sont d'un grand intérêt."*

La conviction nucléaire se fait encore plus forte dans la seconde publication majeure, datant de 1995 ⁽²⁾ : *"Les questions touchant au réchauffement global produit par l'effet de serre, lié à l'utilisation massive des combustibles fossiles, peuvent conduire à un nouveau mouvement en faveur d'un renouveau nucléaire. Cependant un accroissement sensible de la part d'énergie produite par les méthodes nucléaires conventionnelles (REP) rendra certaines questions plus aiguës et aggravera nombre des problèmes qui doivent être résolus avant d'étendre l'utilisation de ces méthodes."*

Les principaux critères gouvernant l'éventuel renouveau de l'énergie nucléaire sont estimés être :

- un niveau extrêmement élevé de sûreté intrinsèque, c'est-à-dire ne dépendant pas de l'intervention humaine en exploitation ;
- une production minimale de déchets radioactifs à vie longue pouvant déboucher sur l'élimination du besoin de sites de stockage géologique ;
- l'utilisation plus efficace d'un combustible largement répandu dans la nature et ne nécessitant pas de séparation isotopique ;
- une grande robustesse à la diversion des matières, dans une optique de non prolifération ;
- un coût de production de la chaleur plus bas et des températures de fonctionnement plus élevées que pour la technologie REP, permettant de se comparer favorablement aux combustibles fossiles.

Les 3 premiers critères sont les déterminants essentiels, les deux suivants devant plutôt être « validés » *a posteriori*. Le combustible qui semble répondre le mieux aux critères énoncés est le thorium naturel. Le thorium est abondant dans la nature, sous

¹ F. CARMINATI et al., *An Energy Amplifier for Cleaner and Inexhaustible Nuclear Energy Production Driven by a Particle Beam Accelerator*, CERN/AT/93-47 (ET), novembre 1993.

² C. RUBBIA et al., *Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier*, CERN/AT/95-44 (ET), septembre 1995. Dans toute la suite de ce chapitre, j'appellerai cette publication importante [CR-95].

l'unique forme de l'isotope 232. Non fissile en lui même, il ne peut exprimer son potentiel énergétique que par une transformation en uranium 233 ; un multirecyclage permet d'envisager une valorisation importante de ce potentiel énergétique. Le cycle $\text{Th}_{232}/\text{U}_{233}$ génère *a priori* moins d'actinides mineurs puisque l'on part d'un numéro atomique plus faible que dans le cycle $\text{U}_{238}/\text{Pu}_{239}$.

Pour sa part le choix du système de réacteur fait intervenir la « fatalité » technique que j'évoquais plus haut. On sait que parmi les multiples types de détecteurs grâce auxquels les physiciens des particules scrutent les secrets les plus intimes de la matière, il en existe un portant le nom curieux de « calorimètre ». Il s'agit en fait d'un détecteur destiné à absorber totalement les rayonnements de haute énergie : les particules incidentes sont absorbées dans de l'argon liquide dont l'ionisation (ou tout autre phénomène mis en jeu selon le domaine d'énergie étudié) fournit une impulsion proportionnelle à l'énergie de la particule. Cette impulsion est collectée sur des plaques métalliques. Il est connu depuis longtemps que l'utilisation (dans certaines conditions) de matériel fissile dans les plaques métalliques permet de « surcompenser » le dépôt d'énergie initial grâce à des fissions induites : on obtient *in fine* une énergie supérieure à l'énergie incidente. De là à imaginer un véritable réacteur il n'y a plus qu'un pas, franchi en 1993 par C. RUBBIA et son équipe.

Par ailleurs le choix du système de réacteur a été corroboré par une considération simple : toutes choses égales par ailleurs, un réacteur est d'autant plus sûr qu'il garantit une bonne maîtrise de la réactivité (donc l'impossibilité d'une excursion de puissance telle que celle survenue à Tchernobyl). Pour ce faire il semble n'être rien de meilleur que d'y placer un milieu sous-critique, c'est-à-dire un milieu où une réaction en chaîne *auto-entretenu*e est physiquement impossible. Il faut alors une source extérieure de neutrons pour assurer dans la durée le maintien des réactions de fissions, qui sont à la source de l'énergie utilisable : une cible adéquate bombardée de protons issus d'un accélérateur de particules fournit les neutrons nécessaires. Au plan physique le réacteur proposé par le Pr. RUBBIA et son équipe appartient ainsi à la catégorie des *systèmes hybrides*.

1.2 Les deux grandes options du projet RUBBIA sont donc indépendantes mais complémentaires

1.2.1 Un réacteur RUBBIA est avant tout un « système hybride »

Parmi les grandes catégories de réactions nucléaires, certaines sont exothermiques : 1/ la fission ou les désintégrations radioactives α et β dispersent le noyau initial en plusieurs éléments au total plus légers que le noyau initial ; 2/ la fusion de deux noyaux légers en un noyau lourd, comme l'absorption d'un neutron par un noyau, conduisent à la formation d'un noyau plus léger que les deux constituants initiaux. D'autres réactions sont endothermiques (la photodésintégration d'un noyau par un photon de haute énergie ; la spallation : cassure partielle d'un noyau par une particule lourde), car au contraire les constituants finaux sont au total plus lourds que les originaux. Les quatre derniers de ces phénomènes sont au cœur de la nucléosynthèse qui, en particulier dans les étoiles, est à l'origine de la composition chimique de la matière que l'on observe dans l'Univers.

Plus près de nous, sur Terre, trois d'entre eux peuvent être utilisés pour une « production » d'énergie ⁽³⁾ :

- *la fusion*, qui fait l'objet de recherches depuis plusieurs dizaines d'années ;
- *l'absorption neutronique* : pour certains noyaux l'absorption d'un neutron conduit à la formation d'une espèce instable, qui peut se fractionner spontanément en éléments plus légers : c'est la fission, à la base des réacteurs nucléaires actuels ; pour d'autres noyaux, l'espèce instable formée suite à une capture neutronique subit une désintégration radioactive voire une simple désexcitation par émission d'un photon (rayonnement γ) ;
- *la spallation* : soumis au choc d'une particule lourde de haute énergie ⁽⁴⁾ (proton, noyau d'hélium), un noyau peut émettre certains de ses constituants (neutrons, protons, particules α ...) ; dans certaines conditions et avec un choix de matériaux cibles appropriés, il est possible de recueillir une trentaine de neutrons « fils » par proton incident : on dispose alors d'une bonne source de neutrons, que l'on peut affecter à de multiples usages : fissionner des éléments comme l'uranium 233, l' U_{235} , le Pu_{239} ou le Pu_{241} , sonder des matériaux pour en étudier les propriétés, etc. ⁽⁵⁾

La spallation est le phénomène physique qui fonde les systèmes dits hybrides. Un faisceau de particules bombarde une cible (généralement métallique) ; la spallation crée dans la cible des neutrons ; ces neutrons se propagent dans le cœur du réacteur et y provoquent des fissions. Dans la pratique on utilise un faisceau de protons d'énergie environ égale à 1 GeV et d'intensité variable : pour les études fondamentales on peut *a priori* se contenter de quelques μA ou quelques dizaines de μA ; pour des applications réelles il faut envisager des intensités de l'ordre du mA ou de la dizaine de mA.

Lorsqu'un faisceau de protons rencontre sa cible il va être absorbé petit à petit au long de son axe de pénétration, donnant ainsi naissance à une bouffée de neutrons de spallation. Cette bouffée de neutrons va induire dans la matière fissile composant le réacteur une série de fissions, qui vont elles mêmes produire d'autres neutrons : il se crée une *cascade neutronique*. Cependant la densité de matière fissile étant insuffisante, le milieu est sous-critique : chaque neutron « utile » (c'est-à-dire provoquant une fission) donne naissance par la fission à moins de 1 neutron « utile ». Au fil des fissions successives le renouvellement des neutrons est insuffisant et la cascade neutronique s'éteint progressivement.

Des considérations physiques classiques montrent que la cascade neutronique dans un milieu combustible supposé uniforme est très hétérogène. Il s'ensuit que la

³ Les guillemets doivent seulement rappeler que l'énergie ne se produit pas : elle se transforme...

⁴ Car la particule est chargée positivement, donc doit posséder suffisamment d'énergie pour franchir la barrière coulombienne qui la sépare du noyau cible.

⁵ Notons que les réactions de spallation se produisent par exemple à la surface des étoiles lors des éruptions stellaires ou encore dans l'interaction entre le rayonnement cosmique avec les noyaux interstellaires. Ces réactions sont invoquées pour expliquer la formation des éléments légers rares (lithium, béryllium, bore) à partir d'éléments plus complexes mais aussi plus abondants (carbone, azote, oxygène) [source : *Encyclopaedia Universalis*].

distribution de puissance dégagée par la fission dans le combustible est elle aussi très hétérogène. L'utilisation du combustible est mauvaise puisque concrètement elle sera limitée par les contraintes subies dans les zones où le flux neutronique est le plus élevé (dommages causés aux matériaux de structure, épuisement du combustible).

Il importe donc que la cascade neutronique soit homogénéisée dans l'espace : ceci se fait par l'intermédiaire d'un milieu *ad hoc*, qui doit être à la fois :

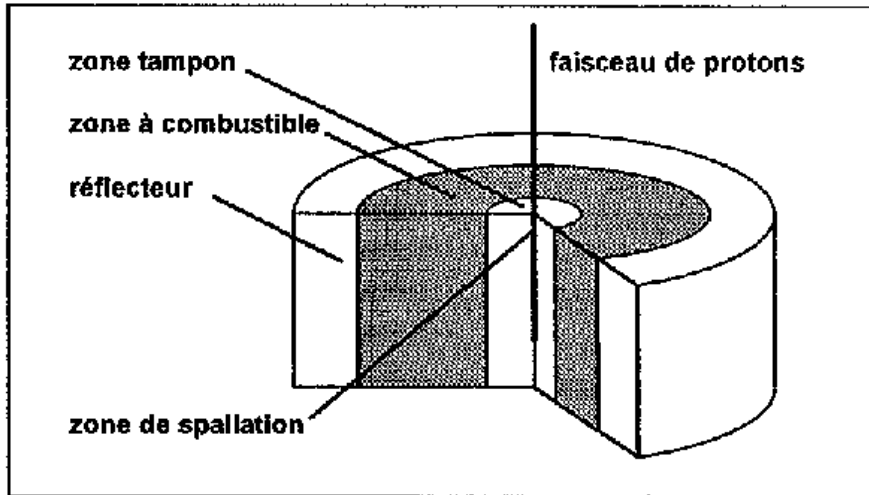
- *diffusant* grâce à la possibilité d'avoir de nombreux chocs entre les neutrons et les noyaux composant le milieu *ad hoc* ; le flux neutronique se répand alors rapidement dans ledit milieu ;
- *transparent* car les nombreux chocs des neutrons dans le milieu ne doivent pas se traduire par une absorption trop forte : les pertes neutroniques dans le milieu sont inévitables mais doivent rester limitées ;
- *non modérateur* si l'on veut conserver un flux de neutrons rapides ; il faut alors que la perte d'énergie que subit un neutron au cours d'un choc soit minime ; ceci impose que le milieu diffusant soit composé d'éléments assez lourds.

Parmi les matériaux envisageables le plomb et le bismuth présentent des caractéristiques de « transparence » remarquables. De plus le rendement de la réaction de spallation y est très élevé : plomb et bismuth peuvent servir à la fois de cible et de matériau diffusant. Dans le cas du plomb, un libre parcours moyen d'environ 3,4 cm assure une bonne diffusivité tandis que tous les neutrons restent concentrés dans un volume caractéristique de quelques m^3 ; une section efficace d'absorption modeste conduit à des pertes neutroniques (théoriques) maximales d'environ 20% mais la présence du combustible (qui absorbe préférentiellement les neutrons) réduit en fait les pertes pratiques à 5% environ ; enfin il faudrait près de 2000 chocs pour qu'un neutron passe du domaine rapide (1 MeV) au domaine purement thermique (0,025 eV) ⁽⁶⁾.

Ainsi, en définitive, la structure d'un réacteur hybride est idéalement constituée :

- d'une zone de spallation, réduite aux environs immédiats du faisceau de protons ;
- d'une zone tampon dans laquelle les neutrons de spallation sont d'abord amenés à une énergie d'environ 1 MeV par des collisions élastiques mutuelles (réactions dites « (n, n') ») puis commencent à être spatialement diffusés ;
- une zone à combustible où les neutrons sont diffusés et absorbés dans le combustible, donnant lieu à des fissions ;
- une zone « réflecteur » destinée à assurer un bon confinement des neutrons.

⁶ Sans même compter le fait que, avant de parvenir à des énergies thermiques, le neutron serait absorbé par le plomb du fait des fortes résonances d'absorption qui sont observables entre des énergies de quelques centaines de keV et quelques keV. Il faut donc faire en sorte qu'ils soient absorbés dans le combustible avant d'être modérés jusqu'à ces énergies de résonance.



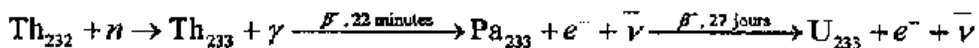
Deux grandeurs sont importantes dans un système hybride :

- 1/ le coefficient de multiplication de fission (généralement noté k), qui est le nombre de neutrons issus d'une fission et donnant lieu à une nouvelle fission ; le milieu étant sous-critique, k est par définition inférieur à 1 ; lors de l'audition du 21 novembre le Pr. RUBBIA préconisait ainsi un $k = 0,98$;
- 2/ le gain énergétique global du système qui est le rapport entre l'énergie déposée par le faisceau de protons et l'énergie totale produite dans le système par les fissions nucléaires.

Bien entendu, dans des conditions de spallation définies, ces deux paramètres sont étroitement liés.

1.2.2 Un réacteur RUBBIA met en oeuvre le cycle du thorium

Le thorium en lui-même n'est pas fissile mais il peut donner naissance à un élément fissile, l' U_{233} , après une capture neutronique suivie de 2 désintégrations β^- , selon le schéma suivant :



Exposée à un flux stationnaire de neutrons, cette chaîne radioactive tend vers un équilibre où chaque noyau d' U_{233} détruit par une fission est remplacé par un nouveau noyau fraîchement formé par désintégration du protactinium Pa_{233} . En première approximation le rapport entre la quantité d' U_{233} et la quantité de Th_{232} à l'équilibre ne dépend que de leurs probabilités respectives (σ) de capture neutronique :

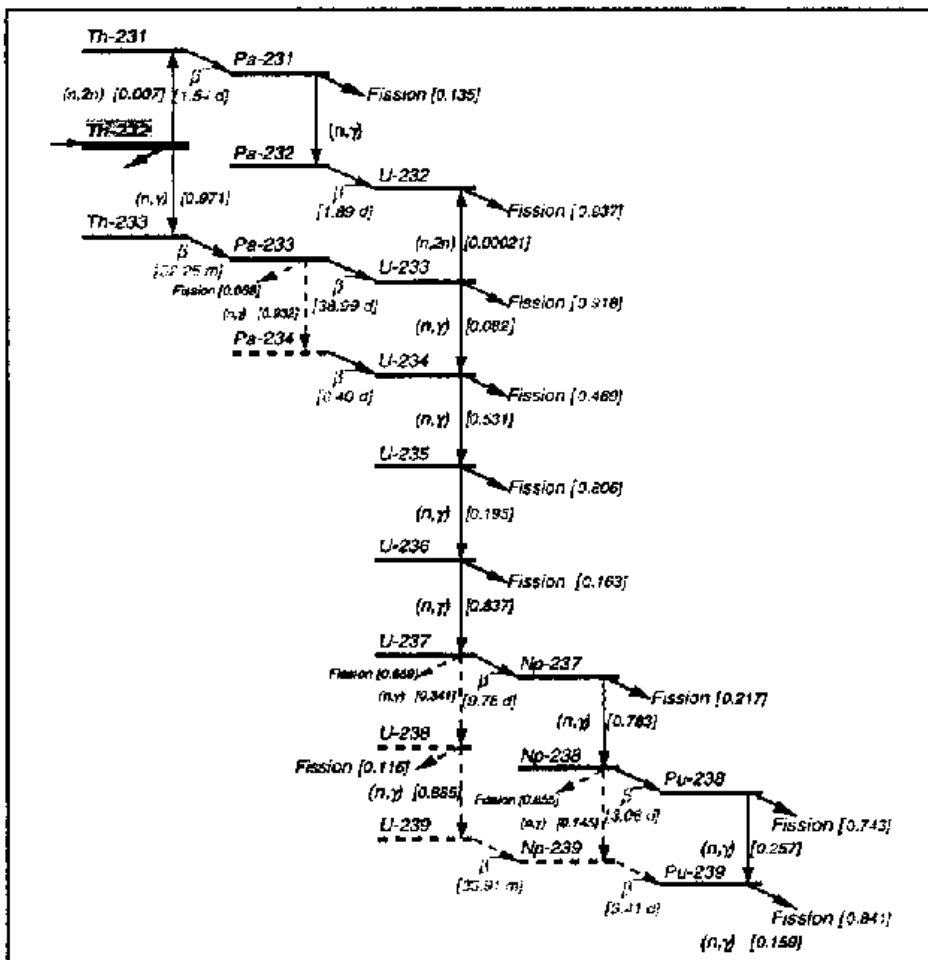
$$\frac{[U_{233}]}{[Th_{232}]} = \frac{\sigma_{\gamma}(Th_{232})}{\sigma_{\gamma} + f_{iss}(U_{233})}$$

En fait, dans une approche moins sommaire, il s'avère que le ratio d'équilibre dépend du flux neutronique qui baigne le réacteur. Dans la réalité, le comportement du combustible est beaucoup plus complexe que la simple transformation de Th en U suivie

de la fission de l'uranium. En effet deux phénomènes supplémentaires peuvent être observés :

- les espèces initiales ou intermédiaires absorbent un neutron et échappent ainsi à la chaîne $\text{Th}_{232} \rightarrow \text{Th}_{233} \rightarrow \text{Pa}_{233} \rightarrow \text{U}_{233}$; il s'agit essentiellement de Pa_{233} à cause de sa durée de demi-vie tout à fait significative (27 jours) ; cet effet est beaucoup moins sensible dans le cas du cycle $\text{U}_{238}/\text{Pu}_{239}$ car l'élément intermédiaire de la chaîne, le neptunium 239, a une durée de demi-vie de 2,3 jours seulement ;
- l' U_{233} peut ne pas fissionner mais absorber lui-même un neutron et débiter ainsi un processus de « montée » dans les numéros atomiques ; on peut alors rejoindre par captures neutroniques successives l'élément U_{238} et amorcer le cycle traditionnel $\text{U}_{238}/\text{Pu}_{239}$.

Le schéma ci-dessous présente les « chemins » neutroniques envisageables pour les transmutations successives du thorium et de ses produits fils. On voit qu'après la capture initiale ($\text{Th}_{232} + n \rightarrow \text{Th}_{233}$) il existe deux processus concurrents :



- les désintégrations radioactives, qui ont pour effet de transmuter l'élément en le faisant passer à l'élément de numéro atomique immédiatement supérieur : ces

désintégrations sont gouvernées par leurs périodes, constantes physiques indépendantes du flux de neutrons présent dans le réacteur ;

- les captures neutroniques, qui peuvent donner des fissions (pour Th_{233} , U_{233} , U_{235} , U_{239} , Np_{238} , Pu_{239}) ou transformer chaque élément en son isotope de nombre de masse immédiatement supérieur ; selon l'élément considéré ces captures sont plus ou moins probables et le nombre d'éléments ainsi transformés dépend donc du flux de neutrons présents dans le réacteur : des neutrons plus nombreux provoqueront plus de captures.

Pour un flux « faible » la composition du combustible aura tendance à privilégier les éléments de masse atomique modérée tandis que pour un flux « élevé » l'apparition d'éléments chimiques de masse élevée sera favorisée. On en conclut que la réactivité du combustible, qui dépend des sections efficaces de fission des espèces en présence ainsi que de leur concentration relative, sera influencée par la valeur du flux neutronique. Ce phénomène n'est pas propre au cycle Th/U mais concerne aussi le cycle U/Pu.

Cependant l'effet relatif des divers éléments est d'autant plus faible qu'ils sont éloignés de l'élément initial sur le « treillis » radioactif présenté au schéma précédent. En première approche, le principal contributeur à l'effet concurrent désintégration / capture est Pa_{233} : comme cet élément n'est pas fissile, un neutron absorbé par capture neutronique est perdu pour l'équilibre neutronique global. Le protactinium est un poison neutronique : peu sensible en flux faible, il est plus gênant pour des flux élevés. C'est l'une des raisons pour lesquelles le projet BOWMAN ⁽⁷⁾ prévoyait un retraitement du combustible en continu.

L'utilisation de neutrons rapides a quelques avantages par rapport aux neutrons thermiques dans le fonctionnement du réacteur. Tout d'abord les produits de fission sont des poisons neutroniques moins virulents qu'avec les neutrons thermiques : dans le spectre rapide leurs sections efficaces d'absorption sont en effet comparativement moindres que celles des éléments « utiles ». Le combustible peut ainsi faire l'objet d'une combustion plus élevée, c'est-à-dire d'une meilleure utilisation de son potentiel énergétique : alors que les combustibles des réacteurs REP ont typiquement des taux de combustion de $45\ 000\ \text{MW.j.t}^{-1}$, le combustible de SUPERPHENIX est conçu pour atteindre 70 à $100\ 000\ \text{MW.j.t}^{-1}$. Le projet RUBBIA mentionne des taux de combustion espérés d'environ $150\ 000\ \text{MW.j.t}^{-1}$.

Deuxième avantage, déclinaison directe du précédent : on n'observe pas les instabilités de réactivité dues à l'empoisonnement neutronique par le xénon (Xe_{135}). Le xénon est le produit de fission qui a l'absorption neutronique la plus forte dans le domaine thermique : près de 1000 fois celle des matières fissiles présentes dans le réacteur. L'équilibre neutronique, donc la réactivité du coeur, sont ainsi fortement influencés par la concentration en xénon, dont l'évolution est gouvernée par des facteurs concurrents : 1/ l'apparition directe par fission ; 2/ l'apparition par désintégration β^- de l'iode 135 ; 3/ la disparition par capture neutronique ; 4/ la disparition par désintégration β^- en césium 135.

⁷ Le projet proposé par C. BOWMAN à Los Alamos sera présenté plus en détail un peu plus loin.

Dans un réacteur REP à puissance nominale (flux $\approx 10^{13}$ n.cm⁻².s⁻¹) la disparition par capture neutronique prévaut sur la disparition par désintégration. Compte tenu des périodes de demi-vie respectives d'I₁₃₅ et de Xe₁₃₅, il s'avère que l'antiréactivité introduite par Xe₁₃₅ peut entraîner des oscillations temporelles ou spatiales de réactivité dans le coeur. C'est ce phénomène qui oblige à retenir des procédures de conduite rigoureuses pour modifier la puissance de fonctionnement des REP, surtout en fin de campagne lorsque le combustible est pratiquement épuisé. Dans certains cas la concentration du xénon dans le coeur peut devenir si importante que le réacteur n'est plus en situation de retrouver la criticité même après le retrait des barres de commande. C'est ce phénomène qui a empêché le redémarrage des réacteurs UNGG de Saint Laurent des Eaux après la panne générale du réseau EDF en 1978.

Troisième avantage : l'économie neutronique est meilleure dans le spectre rapide puisque chaque neutron absorbé dans l'isotope fissile donne naissance à (en moyenne) 2,4 à 2,5 neutrons de fission. Cette valeur n'est que 2,1 à 2,2 pour le spectre thermique. En conséquence on dispose d'un « excès » de neutrons que l'on peut utiliser pour compenser d'éventuels facteurs de réduction de la réactivité : composition moins favorable du combustible, accroissement des pertes neutroniques dues à la géométrie du système...

Au plan pratique, on pourrait envisager de démarrer le réacteur avec une charge de combustible composée de thorium uniquement. Cette solution est à proscrire puisque, le milieu étant privé de matière fissile, le réacteur devrait fonctionner pendant plusieurs semaines en consommateur net d'énergie : en effet la période de demi-vie de Pa₂₃₃ étant de 27 jours, il faut quelques semaines avant que la concentration en U₂₃₃ fissile devienne suffisamment importante donc que les réactions de fission fournissent une contribution positive significative au bilan énergétique de la machine.

On pourrait au contraire envisager d'introduire comme charge initiale un combustible composé de Th₂₃₂ et U₂₃₃ dans les proportions « idéales » de l'équilibre radioactif évoqué au début de ce point 1.2.2. Là encore la solution doit être rejetée puisque l'accumulation des produits de fission, bien que moins gênante que dans les REP, conduirait rapidement à une sensible détérioration des qualités neutroniques du coeur, donc du bilan énergétique.

Il convient alors de débiter la campagne de production avec du combustible contenant de l'U₂₃₃ en quantité inférieure à la proportion d'« équilibre ». Dans les premières semaines, la réactivité du combustible décroît — les performances énergétiques de la machine également — car l'U₂₃₃ initial est consommé peu à peu tandis que le thorium se transforme en Pa₂₃₃ qui ne se désintègre en U₂₃₃ qu'avec sa période de 27 jours. Une fois le stock de Pa sensiblement accru, le taux de production d'U₂₃₃ devient significatif et parvient à compenser les fissions : la réactivité remonte. Enfin l'accumulation des produits de fission réduit petit à petit les performances du combustible.

1.3 Le réacteur RUBBIA repose sur la mise en œuvre de deux composants principaux

1.3.1 Un accélérateur de haute intensité fournit le faisceau de protons

"L'accélérateur est un des éléments les plus innovants de l'Amplificateur d'Énergie" affirmait C. RUBBIA lors de l'audition du 21 novembre dernier. Il est vrai que des intensités de faisceau de 10 à 15 mA pour des énergies de 1 GeV ne sont pas courantes pour les accélérateurs de protons. Aucun accélérateur n'est actuellement capable de fournir un tel faisceau : le cyclotron du Paul Scherrer Institut (Zürich) est parvenu en 1994 à atteindre une intensité de 1 mA pour une énergie de 590 MeV, tandis que depuis 1972 un accélérateur linéaire situé à Los Alamos fournit un faisceau de 800 MeV (donc plus proche en énergie des besoins du réacteur RUBBIA) pour une intensité d'environ 1 mA.

L'équipe de C. RUBBIA propose deux solutions pour obtenir le faisceau de protons nécessaire à l'« amplificateur d'énergie ». Elles étaient présentées sur un même plan dans la toute première publication, datant de 1993⁽⁸⁾. Puis le projet a retenu préférentiellement une solution « tout cyclotron »⁽⁹⁾. Enfin, dans les derniers textes de l'équipe RUBBIA⁽¹⁰⁾, l'option « accélérateur linéaire » obtient un regain de faveur, pour des raisons d'opportunité sur lesquelles je reviendrai.

1. L'option « cyclotron » consiste à accélérer le faisceau de protons dans 3 cyclotrons disposés à la suite. Rappelons qu'un cyclotron classique est un accélérateur formé de deux constituants principaux : un électroaimant de forme circulaire et, placées dans l'entrefer de cet électroaimant, deux électrodes semi-circulaires séparées par un espace vide qui constitue la cavité accélératrice. Le champ magnétique créé par l'électroaimant est constant dans le temps ; il courbe la trajectoire des particules et les maintient à l'intérieur du cyclotron. Un champ électrique radiofréquence créé par les deux électrodes accélère les particules lors de leur passage dans la cavité accélératrice. A chaque passage l'énergie des particules s'accroît ainsi que le rayon de courbure de leur trajectoire dans le champ magnétique de l'électroaimant : cette trajectoire est une spirale. Concrètement les particules doivent donc être injectées au plus près du centre du cyclotron pour être extraites à sa périphérie. L'intensité du champ magnétique appliqué dans l'entrefer et la fréquence du champ électrique appliqué dans la cavité doivent être ajustées.

Le cyclotron est le premier des accélérateurs utilisés pour les protons, les deutons, les particules α , etc. Il est cependant limité en énergie par l'accroissement relativiste de la masse des particules accélérées⁽¹¹⁾. Celui-ci crée un déphasage croissant entre le

⁸ F. CARMINATI et al., *An Energy Amplifier for Cleaner and Inexhaustible Nuclear Energy Production Driven by a Particle Beam Accelerator*, CERN/AT/93-47 (ET), novembre 1993.

⁹ C. RUBBIA et al., *Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier*, CERN/AT/95-44 (ET), septembre 1995 et N. FIETIER, P. MANDRILLON, *A three-stage Cyclotron for Driving the Energy Amplifier*, CERN/AT/95-03 (ET) (Revised), février 1995.

¹⁰ C. RUBBIA, J.A. RUBIO, *A tentative Programme towards a full scale Energy Amplifier*, CERN/LHC/96-11 (EET), juillet 1996.

¹¹ Il semble difficile de dépasser quelques dizaines de MeV pour les protons.

champ radiofréquence appliqué dans la cavité accélératrice et le passage effectif des particules. Il s'ensuit que l'intensité du faisceau accéléré diminue. Cet effet peut être pallié de deux façons :

- dans les *synchrocyclotrons*, on module la fréquence du champ électrique de façon à se recalculer en permanence sur le retard que prennent les particules à chaque tour ;
- dans les *cyclotrons isochrones*, on utilise un champ magnétique non uniforme (croissant du centre vers la périphérie de la machine) de façon à rendre plus rapide le mouvement des particules dans la partie où les trajectoires sont courbées ; il est alors possible d'accélérer *in fine* les protons jusqu'à une valeur proche du GeV (mais cette valeur semble difficile à dépasser).

L'équipe RUBBIA a fait porter son choix sur des cyclotrons isochrones à secteurs magnétiques séparés, qui permettent d'obtenir de meilleures performances :

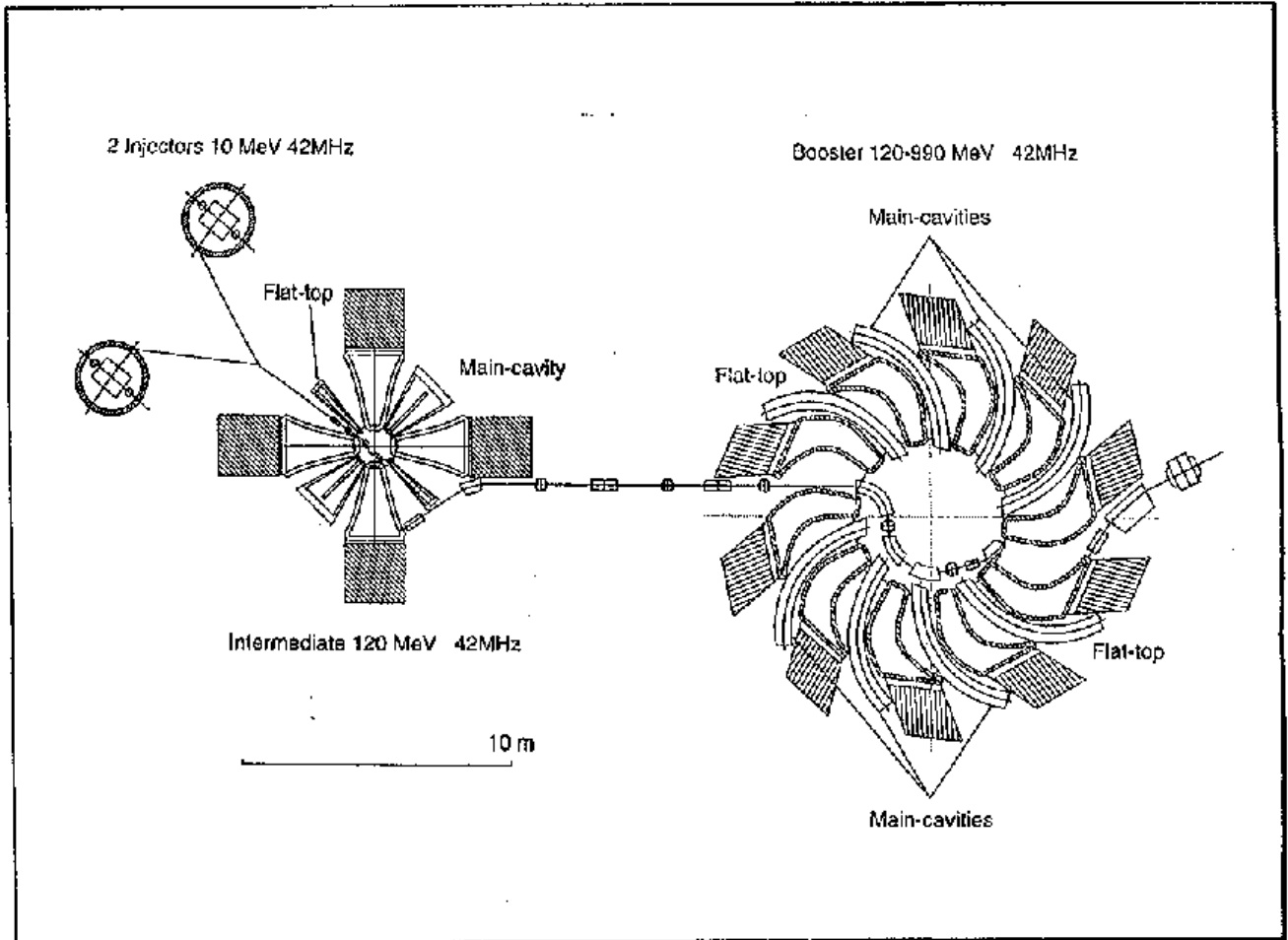
- une bonne focalisation verticale du faisceau provenant principalement des effets de bord ;
- un champ magnétique moyen relativement modeste (0,9 tesla sur la trajectoire d'extraction du dernier étage d'accélération) qui permet une bonne efficacité d'extraction grâce à un fort gain énergétique par tour de faisceau ⁽¹²⁾ ;
- la possibilité d'installer dans les zones vides de champ magnétique des cavités accélératrices avec un champ instantané élevé sans pertes prohibitives ;
- un accès aisé au faisceau permettant de mettre en oeuvre des techniques performantes d'injection et d'extraction, ainsi que tous les instruments de mesure et de diagnostic de faisceau nécessaires.

La configuration générale du système fait apparaître : 1/ un étage « injecteur » constitué de 2 cyclotrons isochrones délivrant deux faisceaux d'énergie 10 MeV et d'intensité 5 mA fusionnés ensuite en un seul faisceau d'intensité 10 mA ; 2/ un accélérateur intermédiaire qui porte l'énergie du faisceau à 120 MeV ; 3/ enfin un grand *booster* placé en fin de chaîne qui porte l'énergie du faisceau à 1 GeV. Les principaux paramètres de conception doivent répondre à des critères relativement précis :

- les cyclotrons sont à secteurs magnétiques séparés avec un entrefer étroit (≈ 5 cm) ; ceci permet d'obtenir une bonne focalisation verticale du faisceau et de la place « dans » le cyclotron pour y placer les cavités accélératrices performantes ;

¹² L'efficacité d'extraction est un paramètre important, d'une part puisqu'il gouverne pour une efficacité énergétique globale du dispositif (moins l'extraction est efficace moins bien est utilisée l'énergie fournie au faisceau), d'autre part il conditionne aussi l'éventuelle activation des structures de l'accélérateur sous l'influence du faisceau mal extrait. Ce dernier phénomène prend un relief d'autant plus important que l'on travaille avec des intensités élevées dans le faisceau. L'activation des structures oblige d'une part à prendre des mesures de radioprotection renforcées, d'autre part à surveiller l'intégrité et la « solidité » de l'accélérateur.

- deux des espaces inter-secteurs sont occupés par des cavités résonatrices destinées à renforcer la cohérence du faisceau et à réduire sa dispersion ;
- le nombre de tours effectués par le faisceau dans chaque cyclotron devrait être inférieur à 200 afin d'éviter des difficultés trop importantes dans la configuration spatiale du champ magnétique ;
- l'extraction devrait être réalisée en un seul tour, ce qui implique d'avoir un gain énergétique par tour élevé ;



Par ailleurs une attention toute particulière doit être apportée à la maîtrise du phénomène de charge d'espace. On sait que des charges de même signe se repoussent ; les particules composant un faisceau accéléré ne manquent pas à cette règle : sous l'influence de leur charge électrique, les particules du faisceau ont tendance à se repousser donc le faisceau à diverger. Cet effet est à la fois transverse (dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation), conduisant à un élargissement du faisceau, et longitudinal, conduisant à un « allongement » susceptible de limiter l'intensité accélérée.

Le phénomène de charge d'espace est beaucoup plus important pour les protons que pour les électrons. Près de 1000 fois plus légers, ceux-ci ont, pour une même

énergie, une vitesse beaucoup plus élevée qui empêche l'effet de charge d'espace de se manifester. Ceci explique — entre autres — que l'on puisse dès aujourd'hui accélérer à quelques GeV des intensités d'électrons de plusieurs mA alors qu'on en est difficilement capable pour les protons.

Dans cette optique il apparaît que le composant le plus critique pour la qualité du faisceau est l'accélérateur intermédiaire. Des calculs préliminaires sur l'effet de charge d'espace montrent que *"il semble possible d'injecter un faisceau de 10 mA à 10 MeV"* (13). Cependant le texte de N. FIETIER et P. MANDRILLON indique que ces calculs ont été effectués en utilisant des hypothèses pas parfaitement adaptées aux caractéristiques envisagées pour le faisceau et qu'il conviendrait de les reprendre avec des codes de calcul plus sophistiqués, qui sont par ailleurs étudiés et mis au point dans le cadre des accélérateurs linéaires de haute intensité. En tout état de cause, il semble aux auteurs que 10 MeV soit une bonne indication de l'énergie nécessaire à l'injection dans l'accélérateur intermédiaire pour espérer gérer raisonnablement les effets de charge d'espace.

La configuration des secteurs magnétiques requiert, comme dans tous les cyclotrons isochrones, des simulations informatiques détaillées afin de garantir la stabilité du faisceau dans le champ magnétique non uniforme. La forme des cavités accélératrices a été étudiée avec l'aide du code MAFLA ; des expériences sur des maquettes de cavités ont permis de cerner les incertitudes et corrections à apporter aux résultats de MAFLA (qui ont pu atteindre 30 à 40% dans certains cas). Une évaluation préliminaire des principaux paramètres de conception pour les transmetteurs d'énergie radiofréquence a été également conduite avec l'aide d'experts du Paul Scherrer Institut. L'efficacité énergétique du transfert d'énergie entre les cavités radiofréquences et le faisceau est une grandeur importante pour la réussite du projet, surtout dans la perspective d'un système producteur d'énergie dans des conditions compétitives. Enfin les caractéristiques des systèmes d'injection et d'extraction ont été définies, sans tenir compte des effets de charge d'espace dans une première phase ; les auteurs indiquaient que des extensions à venir des codes utilisés prendraient en compte ces effets.

Je n'ai pas d'indication sur l'ampleur des corrections que cela amènerait à prendre en compte, non plus que d'un impact éventuel sur la faisabilité même de l'accélérateur de haute intensité. Lors de l'audition du 21 novembre plusieurs personnes ont mentionné avec vigueur l'effet de charge d'espace comme potentiellement dévastateur pour le projet RUBBIA, dans sa partie « accélérateur ». La lecture du papier rédigé par N. FIETIER et P. MANDRILLON montre que les auteurs sont conscients de leur lacune mais qu'ils ne semblent pas pour autant concevoir d'inquiétude particulière pour l'avenir du projet.

2. L'option « accélérateur linéaire » est une alternative sérieuse aux cyclotrons. Dans la publication « fondatrice » de 1993, C. RUBBIA et ses collègues n'hésitent pas à écrire que *"des accélérateurs dont les caractéristiques sont proches de celles requises ici ont été utilisés de façon intensive à des fins de recherche et, avec l'expérience existant dans ce domaine, il n'y a pas de raison de croire que la construction ou l'exploitation*

¹³ N. FIETIER, P. MANDRILLON, *A three-stage Cyclotron for Driving the Energy Amplifier*, CERN/AT/95-03 (ET) (Revised), février 1995, page 15.

d'un tel accélérateur soit particulièrement délicate ou compliquée." ⁽¹⁴⁾ Les discussions et échanges survenus lors de l'audition du 21 novembre, ainsi que les divers papiers, publications et entretiens que j'ai pu conduire ou consulter au cours de l'année 1996 m'ont amené à tempérer quelque peu l'optimisme peut-être excessif des origines.

De façon tout à fait classique, le système accélérateur était composé d'une source de protons, d'un pré-injecteur, d'un pré-accélérateur amenant le faisceau à une énergie de 2 MeV environ, d'un accélérateur intermédiaire de 25 MeV, enfin de l'accélérateur principal. Deux cas de figures étaient envisagés dans la publication de 1993 :

- l'utilisation de cavités accélératrices « classiques » ; le paramètre critique est alors la puissance dissipée dans les cavités, qui peut atteindre quelques dizaines de MW en valeur instantanée mais est limitée à quelques MW en valeur moyenne car le faisceau est pulsé et non continu ; le gain en énergie par mètre parcouru étant assez faible, la longueur totale du dispositif est importante (plusieurs centaines de mètres) ; on peut envisager de replier le faisceau sur lui-même par déflexion magnétique, réduisant ainsi non pas la longueur physique d'accélération mais la longueur matérielle du système accélérateur ;
- l'utilisation de cavités accélératrices supraconductrices ; développées dès aujourd'hui dans le cadre des accélérateurs utilisés pour la physique des particules, leur avantage principal réside dans un gain énergétique par mètre parcouru nettement plus élevé que dans la solution précédente (6 MeV.m⁻¹ contre 1,5 MeV.m⁻¹ typiquement) ; il en résulte une longueur d'accélération plus faible et une meilleure efficacité énergétique de l'accélération (rendement d'environ 60%) améliorant ainsi le bilan énergétique global de la machine.

En 1993 C. RUBBIA et son équipe indiquaient prudemment que *"cependant, la complexité d'exploitation d'un tel équipement supraconducteur — tout au moins en l'état actuel de la technique — est plus importante et il est très probable que dans les cas les plus simples elle s'avérerait être trop grande. Néanmoins les avantages de la supraconductivité pour cette application doivent être mis en avant et la simplicité d'exploitation pourrait être obtenue dans un futur pas très lointain après la poursuite des efforts de R&D."*

En 1996 cette opinion favorable s'est affirmée. La publication de C. RUBBIA et J.A. RUBIO ⁽¹⁵⁾ décrit comme solution non seulement envisageable mais souhaitable la réutilisation des cavités supraconductrices du LEP 200, qui doivent achever leur vie active vers 2000 pour être réformées. La structure accélératrice du LEP 200 consiste en une série de cavités supraconductrices faites chacune de 4 cellules sphériques. Chaque cellule a une longueur égale à la moitié de la longueur d'onde de l'onde radiofréquence (352 Mhz, soit 85,2 cm). Le champ radiofréquence est fourni par des klystrons de 1,3 MW de puissance unitaire et injecté dans la cavité via des coupleurs refroidis par un

¹⁴ L'accélérateur typique dont il est ici question était censé transporter un faisceau d'intensité 7,8 mA pour une énergie de 800 MeV donc une puissance totale de 6,25 MW.

¹⁵ C. RUBBIA, J.A. RUBIO, *A tentative Programme towards a full scale Energy Amplifier*, CERN/LHC/96-11 (BET), juillet 1996.

système cryogénique. Les cavités sont « emballées » par groupes de 4 dans des modules cryogéniques.

Bien qu'il existe une grande expérience dans l'accélération des électrons et des positons dans les cavités supraconductrices du LEP, l'extrapolation de leur utilisation à des protons non relativistes nécessite des travaux complémentaires et des modifications dans la géométrie des cavités. Dans la configuration actuelle prévalant dans LEP 200, les cavités sont essentiellement destinées à compenser les pertes d'énergie du faisceau d'électrons due au rayonnement synchrotron au long de l'orbite suivie par le faisceau ⁽¹⁶⁾. Les particules (électrons et positons) ont alors une énergie pratiquement constante tout au long de leur parcours, donc toutes les cavités sont identiques. En revanche, si l'on doit les utiliser pour accélérer des protons, il faudrait avoir des cavités de géométrie différente pour optimiser les étapes élémentaires de l'accélération dans chaque cavité.

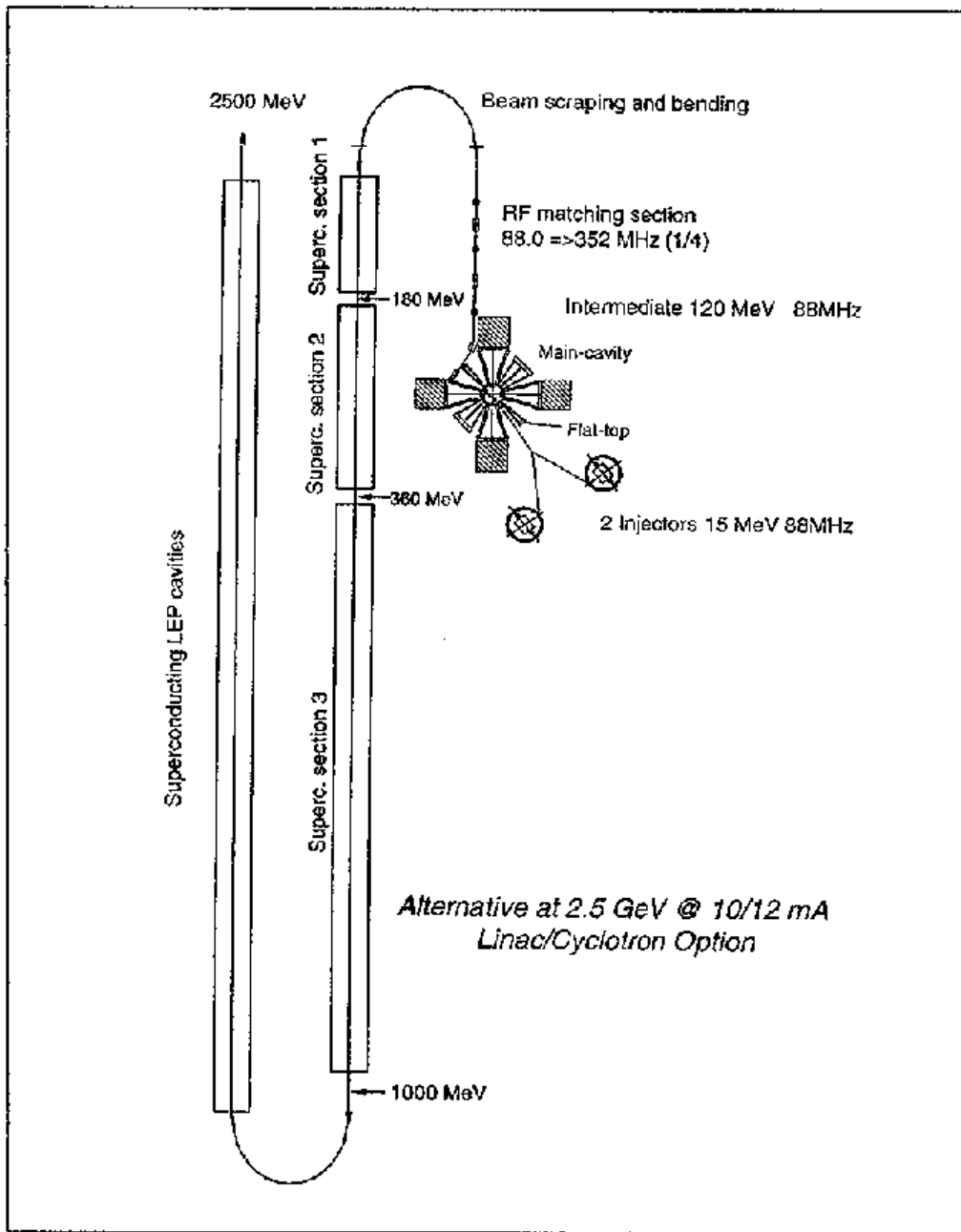
Il serait difficile, dans une optique d'économies de moyens, de reconstruire une série de cavités de configurations uniques. Des évaluations préliminaires montrent qu'il serait en revanche possible d'accélérer un faisceau de protons de 100 MeV à 1 GeV, avec un gradient de pertes relativement faible, avec seulement trois formes différentes de cavités. Au-delà de 1 GeV les cavités existantes peuvent être utilisées telles quelles. Au-dessous de 100 MeV les contraintes géométriques seraient telles qu'un doute sérieux subsiste sur la faisabilité des cavités. Même si la possibilité théorique de construire des cavités supraconductrices fonctionnelles dans le domaine 10 MeV-100 MeV ne peut pas être formellement écartée, il apparaît plus judicieux d'utiliser des moyens traditionnels d'accélération jusqu'à une énergie de 100 MeV avant d'injecter le faisceau de protons dans le système accélérateur fondé sur le modèle de celles du LEP.

Comme dans le cas des cyclotrons, il faut se poser la question du courant maximal envisageable avec un tel système. Le texte de C. RUBBIA et J.A. RUBIO considère que l'effet limitant essentiel réside dans la dissipation de puissance dans les coupleurs radiofréquence. La puissance nominale des coupleurs utilisés dans LEP 200 est de 125 kW mais selon les auteurs, l'expérience de LEP 200 et du synchrotron européen ESRF de Grenoble montrerait que des puissances excédant 200 kW sont possibles et que des courants de 25 à 30 mA sont envisageables sans renforcement essentiel des coupleurs. Il doit être clair en tous les cas que les exigences de puissance pour maintenir constante l'énergie d'un faisceau d'électrons (cas du LEP 200) ⁽¹⁷⁾ ou pour accélérer de 100 MeV à 1 GeV un faisceau de protons (cas du projet RUBBIA) ne sont pas *a priori*

¹⁶ On sait en effet que toute particule chargée accélérée émet un rayonnement. La déviation de trajectoire d'une particule chargée est constitutive d'une accélération, donc lorsqu'un électron ou un faisceau d'électrons est contraint de suivre une trajectoire courbée (par un champ magnétique) il rayonne de l'énergie... qu'en conséquence il perd. Si l'on veut faire tourner le faisceau à énergie moyenne constante, on est obligé de compenser cette perte d'énergie en réaccélérant les particules dans des cavités radiofréquences. Notons cependant que la « perte » d'énergie par rayonnement n'est pas nécessairement considérée comme un inconvénient. C'est justement l'objet des synchrotrons que de fournir, à partir de faisceaux tournant sur une orbite fermée, un « rayonnement synchrotron » utilisé par exemple dans l'étude des propriétés de la matière.

¹⁷ D'autant que le rayon de courbure moyen de la trajectoire dans le LEP est de 27 km. Il s'ensuit que la perte d'énergie par rayonnement à chaque modification élémentaire de trajectoire est relativement minime. Au demeurant le bilan doit être fait sur l'ensemble de la trajectoire (donc un tour complet). Les contraintes de puissance sur chaque étage ré-accélérateur doivent alors être rapportées au nombre total de cavités accélératrices, de coupleurs et de klystrons associés. Plus ceux-ci sont nombreux moins les sollicitations appliquées à chacun sont rigoureuses.

identiques. Il s'ensuivra peut-être des contraintes sur la configuration générale du système accélérateur.



Rien n'est dit sur les phénomènes de charge d'espace... mais une indication peut être suggérée. D'ailleurs lors de l'audition du 21 novembre, C. RUBBIA lui-même déclarait que "le choix correct consiste à avoir le maximum d'énergie possible et le minimum de courant possible. C'est la direction dans laquelle nous allons". Dans ce cadre, le projet RUBBIA présente comme équivalentes deux options correspondant à une puissance de 25-30 MW transportée dans le faisceau :

- un accélérateur supraconducteur limité à 1 GeV, construit à l'aide des cavités de *design* LEP adaptées aux étapes successives de l'accélération ; le courant nécessaire est alors de 25 à 30 mA ;
- le même accélérateur auquel est adjoint un dernier étage d'accélération construit avec les cavités actuellement utilisées sur le LEP ; dans ce cas l'énergie du faisceau est portée à 2,5 GeV et le courant nécessaire peut être réduit à 10-12 mA.

La seconde solution réduit de façon significative les difficultés liées au phénomène de charge d'espace. Je m'interroge cependant sur la compatibilité de cette alternative avec d'autres considérations développées par C. RUBBIA lors de l'audition. Présentant les lignes directrices de son projet, C. RUBBIA indiquait que le gain énergétique total est le produit du gain de spallation et du gain de fission⁽¹⁸⁾. Or le gain de spallation se « sature » dès que l'énergie du faisceau atteint environ 1 GeV. Dès lors augmenter l'énergie du faisceau n'apporte aucune augmentation de la quantité de neutrons produits ; au contraire si pour conserver la même puissance de faisceau on est amené à réduire le courant on réduit par là même la quantité globale de neutrons produite dans la cible !

J'entrevois une porte de sortie pour cette apparente contradiction. La « saturation » du gain de spallation mentionnée par C. RUBBIA et illustrée dans le transparent projeté concerne des évaluations menées sur une cible de plomb. Il est tout à fait possible que cette saturation n'existe pas, ou existe pour des énergies plus élevées, si l'on utilise d'autres cibles de spallation. Dans ce cas l'intérêt d'utiliser un faisceau d'énergie plus élevée, à partir des cavités du LEP réutilisées sans changement, redeviendrait évident.

Cependant la configuration générale du réacteur sous-critique envisagé par C. RUBBIA repose sur l'utilisation d'une cible de plomb, d'ailleurs confondue (cf. *infra*) avec le liquide primaire caloporteur. Changer la nature chimique de la cible impliquerait une remise en cause globale de la conception actuellement présentée. Je ne sais pas si cela rejoint réellement les souhaits des promoteurs du projet...

Au demeurant le Pr. RUBBIA a apporté une réponse aux multiples interpellations qui lui ont été adressées lors de l'audition sur les problèmes de charge d'espace dans les faisceaux de haute intensité. Il a rappelé que tous les faisceaux de haute intensité actuellement en service ont certes une intensité moyenne qui parvient aujourd'hui péniblement à 1 ou 2 mA. Cependant ces faisceaux ne sont pas continus mais pulsés (à l'exception du faisceau du Paul Scherrer Institut) : ils sont constitués de bouffées de protons séparées par du vide plutôt que par un flux continu de protons. L'intensité instantanée qui est en fait véhiculée par le faisceau est donc nettement supérieure à l'intensité moyenne puisqu'elle peut atteindre plusieurs dizaines de mA. D'après C. RUBBIA, ceci montre que des phénomènes de charge d'espace importants sont déjà parfaitement gérés dans les accélérateurs actuels : *"tous les phénomènes de charge d'espace sont bien présents dans les machines ordinaires actuelles, même si ces machines sont pulsées [...] S'agissant de la dynamique du faisceau lui-même, les machines*

¹⁸ Nombre total de neutrons de fission générés pour chaque neutron de fission « originel », c'est-à-dire directement issu de la spallation. Ce gain mesure en quelque sorte la population de neutrons dans la cascade neutronique, aux pertes près.

actuelles ont largement exploré ce domaine". Le seul problème qui se poserait pour augmenter l'intensité moyenne des faisceaux résiderait alors dans l'augmentation du « cycle d'utilisation » c'est-à-dire de la proportion de temps « utile » (passage d'un bouffée de protons) au temps « mort » (intervalle entre deux bouffées successives).

Usant d'une formule percutante, C. RUBBIA estime que les difficultés sont d'ordre purement technologiques et non physiques : *"c'est dans le transfert d'énergie radiofréquence, dans le refroidissement, dans les vis et dans les boulons, dans la façon de construire les choses, qu'il faut travailler."* Autant je partage sans réserve son optimisme raisonnable sur la question du refroidissement des structures accélératrices, qui ne me paraît pas devoir poser des difficultés insurmontables, autant la lecture des publications du CERN relatives à la partie accélérateur — et au premier chef la publication de N. FIETIER et P. MANDRILLON — m'incite à penser que le transfert d'énergie radiofréquence à des faisceaux de haute intensité — et tout spécialement le passage d'un faisceau pulsé à un faisceau continu — n'est pas une opération simple *a priori* et nécessite peut-être des développements techniques relativement poussés.

1.3.2 L' « amplificateur d'énergie » recueille et transforme l'énergie de fission

Au plan technique, le réacteur RUBBIA dans sa forme finale se présente sous la forme d'une cuve cylindrique verticale d'environ 6 m de diamètre et 30 m de hauteur, dont le fond est hémisphérique ; sa masse est de 1500 tonnes environ. Le coeur repose sur les structures internes inférieures de la cuve à environ 1/4 de sa hauteur. Son refroidissement s'effectue grâce à la circulation de plomb liquide par convection naturelle (alors que la solution généralement retenue dans les réacteurs à neutrons rapides consiste à utiliser le sodium en convection forcée). Le plomb « chaud » (600°C) monte vers le haut de la cuve, passe dans quatre échangeurs de chaleur qui prélèvent l'énergie thermique et la transmettent — selon un schéma classique dans les réacteurs à neutrons rapides — à des circuits secondaires auxquels sont connectés les générateurs de vapeur. Le plomb « froid » (400°C) descend dans l'espace annulaire délimité par une jupe métallique interne et retourne dans le fond de cuve, la zone du coeur et de spallation.

Les éléments combustibles sont similaires à ceux actuellement utilisés dans les réacteurs à neutrons rapides. Compte tenu des caractéristiques plus favorables du liquide caloporteur retenu par rapport au sodium, leur longueur est cependant plus élevée ce qui conduit à un meilleur confinement neutronique dans le coeur. Le taux de combustion moyen est d'environ 100.000 MW.j.t⁻¹ mais peut atteindre 200.000 MW.j.t⁻¹ pour les assemblages les plus irradiés. Un pantographe permet de manipuler les éléments combustibles. Une zone d'entreposage est prévue à proximité du coeur, où l'on peut placer quelque temps des éléments combustibles pour décroissance radioactive.

Le long de l'axe de la cuve un tube d'une trentaine de cm de diamètre descend jusqu'au plan médian du coeur, où il se rétrécit à 20 cm environ : il conduit sous vide le faisceau de protons vers la cible. Une fenêtre en tungstène, quasi « transparente » aux protons, ferme l'extrémité du tube.

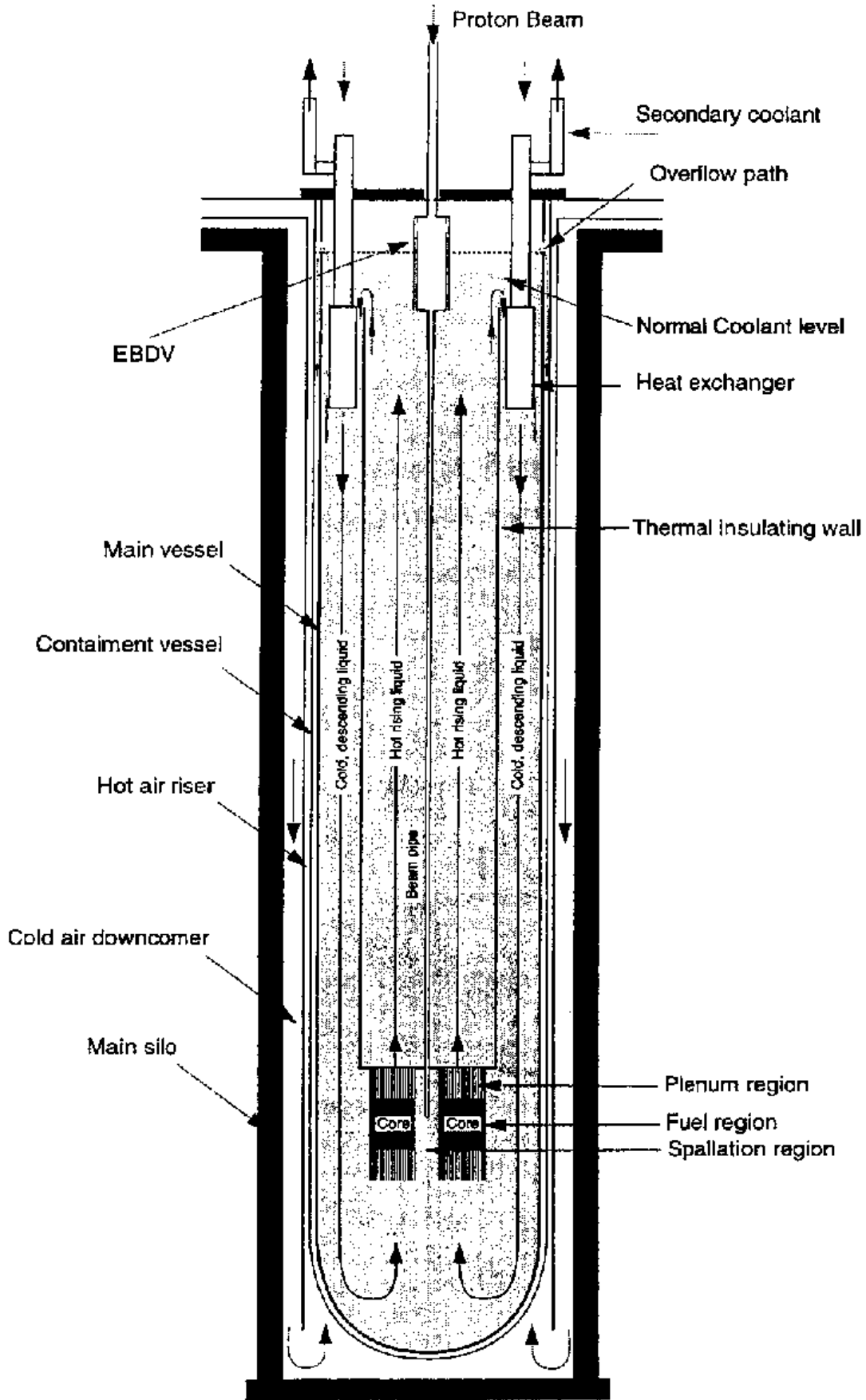


Figure 2.2: General layout of the Energy Amplifier/Beam Dump [1].

Le coeur a une structure annulaire : un espace « vide » (c'est-à-dire sans assemblages combustibles mais rempli de plomb liquide) d'environ 40 cm de rayon est situé sur l'axe de la cuve : il constitue la cible du faisceau de protons. Les assemblages combustibles sont disposés en anneau autour de la zone de spallation ; on distingue un coeur intérieur et un coeur extérieur, dont la composition et la géométrie sont différentes de façon à compenser l'hétérogénéité du flux neutronique dans le coeur. 27 tonnes de combustible sont présentes. La région périphérique est constituée d'assemblages de thorium pur destinés à « surgénérer » de l' U_{233} .

La puissance thermique dégagée dans le coeur est de 1500 MW. La puissance électrique récupérée à l'alternateur est de 675 MW, compte tenu des rendements thermodynamiques attendus aux différents étages d'échangeurs et à la turbine, qui conduisent à un rendement global d'environ 45%. Compte tenu des paramètres de fonctionnement retenus pour le coeur, le système accélérateur consomme environ 30 MW tandis que l'électricité excédentaire peut être déversée sur le réseau.

Les caractéristiques techniques détaillées de l'amplificateur d'énergie sont étudiées plus loin puisqu'elles conditionnent pour une large part l'appréciation que l'on peut porter sur la sûreté du système.

2. LE PROJET RUBBIA S'INSERE PLEINEMENT DANS LE PASSE ET LE PRESENT DE LA RECHERCHE NUCLEAIRE

On aurait tort de croire que les idées avancées depuis 1993 par le Pr. RUBBIA et son équipe sont réellement neuves. La plupart de ces idées ont été explorées dès les débuts de l'ère nucléaire tandis que le tournant des années 90 a vu se multiplier des projets similaires à celui présenté par l'équipe du CERN.

2.1 Les débuts de l'ère nucléaire ont suscité des recherches foisonnantes

2.1.1 La mise en oeuvre du cycle thorium

Le cycle thorium a été la base choisie pour la filière des réacteurs à haute température. Les États-Unis ont construit les réacteurs de Peach Bottom (1968-1974) puis Fort St. Vrain, dont j'avais longuement parlé dans mon rapport 1994. L'Allemagne s'est concentrée sur le réacteur AVR, situé au centre de recherches nucléaires de Jülich, puis sur le réacteur à boulets de Schmehausen (1985-1989) qui utilisait un combustible sous forme de boulets de 6 cm de diamètre, mélangeant de l'uranium assez enrichi et du thorium. La France a été associée à cet effort de 1972 à 1980.

Quelques charges de combustible au thorium avaient été placées dans le réacteur américain d'Indian Point-1, lancé en 1957 ; cette expérimentation a été rapidement abandonnée pour un retour à l'uranium enrichi « classique ». Vers 1976, le réacteur de Shippingport a fonctionné pendant quelque temps avec des éléments combustibles au thorium ; cette expérience a permis de réaliser une quasi surgénération dans le cadre du cycle Th_{232}/U_{233} .

Par ailleurs, dans le cadre des projets communs de l'OCDE, le réacteur Dragon (20 MW thermiques) construit à Winfrith (Royaume Uni) a été exploité de 1964-1976 avec parfois des combustibles au thorium.

L'Inde a manifesté depuis plusieurs années un intérêt certain pour le développement du cycle du thorium. Avec le Brésil, ce pays est celui qui a les plus importantes réserves prouvées de minerai. La stratégie nucléaire prônée officiellement par l'Inde consiste à : 1/ utiliser l'uranium dans un parc de réacteurs thermiques ; 2/ utiliser le plutonium issu de cette première étape dans des réacteurs rapides entourés de couvertures fertiles au thorium ; 3/ utiliser dans d'autres réacteurs l'uranium 233 produit à partir du thorium lors de l'étape 2.

Le réacteur indien de Kakrapar-1, lancé en septembre 1992, utilise à titre expérimental 35 assemblages combustibles à base de thorium (contre près de 3500 à l'uranium naturel). Le cycle commence à être véritablement utilisé dans son entier puisque le réacteur de recherche KAMINI a divergé en octobre 1996 au centre de recherches atomiques de Kalpakkam (Madras). D'une puissance maximale égale à 30 kW, il utilise comme combustible un alliage d'uranium 233 et d'aluminium ; l'eau lourde sert de modérateur et de liquide caloporteur.

2.1.2 La mise en oeuvre de systèmes hybrides

Les premières études et réalisations relatives aux systèmes hybrides ont eu pour but la production de matières fissiles. Un exemple est donné plus loin dans les paragraphes consacrés à la prolifération nucléaire.

Le centre de recherches du *Department of Energy* situé à Oak Ridge a hébergé pendant plusieurs années un petit réacteur à sels fondus piloté par un accélérateur de particules.

Par ailleurs dans le cadre de sa politique de lutte contre la prolifération, le président CARTER avait lancé un exercice international destiné à étudier une remise en cause des systèmes nucléaires classiques et la mise au point éventuelle de nouveaux systèmes avec de meilleures caractéristiques de protection contre les risques de prolifération. Des débuts de démonstration ont été effectués aux États-Unis et au Canada.

2.2 Les systèmes hybrides connaissent aujourd'hui une faveur nouvelle

Le tournant des années 90 a vu un regain d'intérêt pour les systèmes hybrides, après une assez longue déshérence. Ce renouveau a été suscité essentiellement par :

- la prise de conscience que des solutions innovantes doivent être recherchées pour une meilleure gestion des déchets de haute activité issus des techniques actuellement utilisées pour la production d'électricité d'origine nucléaire ;
- les progrès sensibles réalisés dans les accélérateurs de particules comme en témoigne la mise au point toute récente (décembre 1996) de la source de spallation SINQ, au Paul Scherrer Institut (Suisse), alimentée par un courant continu de 1 mA environ.

Les deux programmes les plus importants à cet égard sont les programmes OMEGA (Japon) et le projet ADTT (*Accelerator Driven Transmutation Technology*) lancé par C. BOWMAN au *Los Alamos National Laboratory* (États-Unis).

2.2.1 Le projet OMEGA fédère les efforts japonais

Vers la fin des années 80 l'*Atomic Energy Commission* du Japon a exprimé son intérêt de voir explorées de nouvelles voies pour une éventuelle utilisation énergétique des déchets nucléaires de haute activité et pour une optimisation des programmes d'élimination définitive. Elle a publié en 1988 deux rapports destinés à donner les grandes orientations des programmes correspondants : *Long Term Programme for Research and Development on Nuclide Partitioning and Transmutation* et *Development in Nuclide Partitioning and Transmutation*. Ce programme prévoyait une série de recherches jusque vers l'horizon 2000 et fut nommé OMEGA pour *Options for Making Extra Gains from Actinides and fission products*.

Trois organismes japonais se sont associés pour OMEGA : le JAERI (*Japan Atomic Energy Research Institute*), équivalent du CEA, la société PNC (*Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation*), homologue de COGEMA, et le CRIEPI (*Central Research Institute of the Electric Power Industry*), équivalent de la Direction des Études et Recherches d'EDF.

Le projet OMEGA s'intéresse à l'ensemble du cycle du combustible. Il comporte des développements relatifs à l'amélioration des méthodes de séparation des radioéléments, des actions de recherche fondamentale pour la détermination de paramètres physiques importants (développement de banques de données nucléaires), des études sur la mise au point de nouvelles formes de combustible (combustibles au nitrure). Surtout, plusieurs concepts de systèmes de transmutation sont au coeur du process :

- deux concepts de réacteur à neutrons rapides refroidi au plomb ou à l'hélium ;
- deux concepts de système hybride à sels fondus ou à cible et combustible solides ; chacun met en oeuvre un flux élevé de neutrons rapides issus d'une source de spallation afin de consommer les actinides mineurs par fission essentiellement.

Dans le système hybride à cible et combustible solides un accélérateur linéaire projette le faisceau de protons (*via* une fenêtre *ad hoc*) sur une cible en tungstène solide située au centre du coeur. Le milieu sous-critique est formé d'assemblages fortement enrichis en actinides. Le refroidissement est assuré par du sodium. Le système est très fortement sous-critique et un faisceau de protons d'environ 40 mA pour une énergie de 1,5 GeV produit une puissance thermique de 820 MW seulement. Après une conversion électrique fondée sur un rendement de 30%, 246 MW sont disponibles en sortie de l'alternateur dont 146 MW sont absorbés par l'accélérateur et 100 MW mis sur le réseau électrique.

Dans le système à sels fondus, le sel constitue à la fois la cible pour la spallation, le combustible pour la fission et le liquide caloporteur pour le refroidissement. Un sel

chlorure a été retenu sur la base de considérations physiques touchant au fonctionnement du réacteur et compte tenu des caractéristiques connues pour la solubilité des actinides. Dans les conditions fixées par les promoteurs du projet, la puissance thermique dégagée dans le cœur est d'environ 800 MW pour un faisceau de 25 mA à 1,5 GeV.

A l'appui de ces deux systèmes le JAERI a proposé le développement d'un accélérateur de protons linéaire à haute intensité, fournissant un courant de 10 mA pour une énergie de 1 GeV. Les premiers efforts de R&D se sont focalisés sur le premier élément du système, qui fournira des protons de basse énergie (10 mA pour 10 MeV) : le *Basic Technology Accelerator* (BTA). Lors de la conférence Global'95 (septembre 1995) l'orateur japonais indiquait que les principaux composants avaient été fabriqués et testés (source d'ions à haute intensité, quadrupoles radiofréquence, sources radiofréquences et éléments de guidage linéaire). L'extraction d'un faisceau de 140 mA à haute émittance avait pu être pratiquée hors de la source d'ions tandis que l'accélération d'un faisceau de 52 mA à 2 MeV avait été conduite avec succès. Ces résultats ouvraient la voie à la phase de conception détaillée de l'ensemble BTA, premier étage de l'accélérateur complet.

2.2.2 Le projet ADTT à Los Alamos a été remodelé récemment

Le *Los Alamos National Laboratory* est l'un des 8 grands laboratoires nationaux du DoE. Il entretient avec la recherche nucléaire une relation toute particulière puisque c'est sur les collines semi-désertiques de Los Alamos qu'ont été conçues les premières bombes atomiques. Depuis, l'activité du laboratoire s'est largement diversifiée comme j'ai pu le constater lors de la mission conduite aux États-Unis dans le cadre de mon rapport 1994.

Les premières publications de C. BOWMAN et son équipe datent du début des années 90⁽¹⁹⁾. Le système retenu à l'origine par le projet ADTT était un réacteur à sels fondus fonctionnant avec un spectre de neutrons thermiques après modération par du graphite. La cible de spallation était constituée d'un eutectique de plomb-bismuth à l'état liquide (ou de plomb seul). Le cycle du combustible était fondé sur l'utilisation d'un procédé de retraitement pyrométallurgique.

Ces options ont été abandonnées au tournant de l'hiver 1996-97 et C. BOWMAN a été mis en retrait ; F. VENNARI occupe aujourd'hui son poste de directeur scientifique. Les options retenues aujourd'hui se rapprochent de celles prônées par C. RUBBIA : utilisation d'un spectre de neutrons rapides, utilisation du plomb comme liquide caloporteur, etc. Il me paraît cependant intéressant de présenter une description détaillée des conceptions initiales de l'équipe ADTT. Ce projet reposait en effet sur un faisceau d'options parfois très futuristes, dont la connaissance aujourd'hui peut contribuer à resituer utilement les choix faits dans le cadre du projet RUBBIA lui-même.

La technologie des accélérateurs de haute intensité est en cours de développement continu à Los Alamos depuis une trentaine d'années. Le laboratoire est fortement impliqué dans un projet important destiné à concevoir un grand accélérateur (courant de 100 mA pour une énergie de 1,3 GeV) pour la production de tritium destiné aux besoins de la défense nationale. Des projets similaires ont été examinés par l'*Energy Advisory*

¹⁹ Voir par exemple C.D. BOWMAN et al., « Nuclear Energy Generation and Waste Transmutation Using Accelerator-Driven Intense Thermal Neutron Source », *Nucl. Instr. Methods*, A230-336 (1992).

Board du DoE, le comité JASON placé auprès du Département de la Défense et le *General Accounting Office* du Congrès ; ces instances ont approuvé la poursuite des recherches et précisé leurs conditions.

L'équipe de Los Alamos estime que seul un accélérateur linéaire peut répondre au besoin de puissance du faisceau pour le dispositif qu'elle propose. L'accélérateur le plus puissant disponible sur le site (LAMPF) ne fournit cependant qu'un courant de 1 mA pour une énergie de 800 MeV. L'équipe ADTT pense pourtant que le passage à une puissance de 100 MW ne devrait pas poser de problèmes redoutables :

- dans le LAMPF, une seule cavité sur quatre est occupée par le faisceau ; l'utilisation complète des cavités procurerait un gain de 4 ;
- le LAMPF est un accélérateur pulsé avec un taux de fonctionnement de 10% ; passer à 100% procurerait immédiatement un gain de 10 sur le courant moyen du faisceau ;
- la charge présente dans chaque micro-concentrateur de faisceau pourrait être quadruplée.

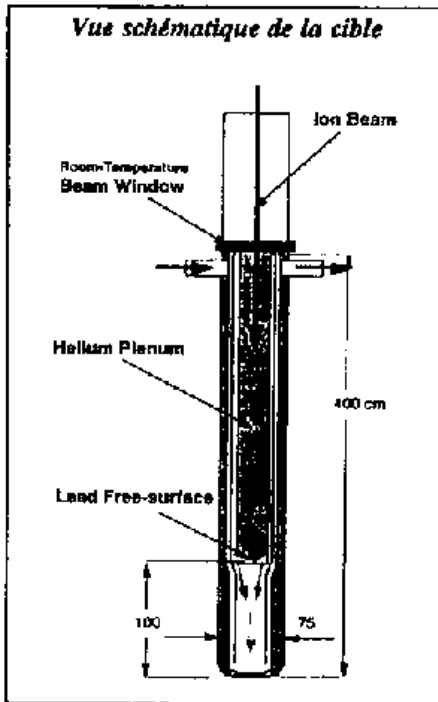
Au total un facteur 160 pourrait facilement être gagné sur la puissance finale du faisceau ⁽²⁰⁾. L'équipe ADTT estime donc qu'un accélérateur linéaire de 150 MW dans le faisceau (150 mA × 1 GeV) peut être construit par une simple extension des technologies disponibles dès aujourd'hui. Elle indique par ailleurs que dans un premier temps la configuration actuelle du faisceau permet de tester un mini-réacteur développant une puissance thermique de 5 MW ; des modifications qualifiées de "*modestes*" permettraient de fournir une intensité de 2 mA qui pourrait piloter un module prototype de 40 MW thermiques ; enfin des dépenses plus conséquentes mais "*faibles comparées au coût d'un nouvel accélérateur*" permettraient au LAMPF de fournir une intensité de 20 mA suffisante pour piloter un réacteur prototype de 500 MW thermiques au moins.

Dans le projet initial de C. BOWMAN — il en est peut-être de même pour le projet actuel mais je n'ai pas d'information sur ce point — la cible était constituée de plomb en fusion ou d'un mélange eutectique de plomb et de bismuth. Aux hautes densités d'énergie transportées par le faisceau de protons, les cibles métalliques liquides offrent des avantages importants par rapport aux cibles solides : l'évacuation de la chaleur produite dans la cible est aisée puisqu'on peut le faire circuler vers un circuit de refroidissement ; il n'y a pas de limite de durée de vie due à des dommages structurels causés à la cible ; la cible liquide peut être réutilisée au-delà de la durée de vie des structures qui la contiennent, minimisant ainsi le volume des déchets.

Comme dans le projet RUBBIA, un tube placé sur l'axe vertical de la cuve descend jusqu'au niveau du coeur. Le tube est fermé en haut de cuve par une fenêtre qui assure le passage du faisceau de protons le long de l'axe de la cuve et sépare celle-ci du vide

²⁰ Ces indications sont tirées de F. VENERI, C.D. BOWMAN, S.A. WENDER, « The Physics Design of Accelerator-Driven Transmutation Systems », recueil des communications de Global95 - *International Conference on Evaluation of Emerging Nuclear Fuel Cycle Systems*, Vol. 1 p. 474, Versailles, 1995.

présent à l'intérieur de l'accélérateur. Le tube remplit plusieurs fonctions et deux jupes métalliques concentriques intérieures matérialisent 4 zones :



- l'intérieur de la jupe interne est rempli d'hélium qui assure le passage du faisceau de protons avec une atténuation minimale et empêche par pression hydrostatique le plomb de monter ;
- la zone inférieure située sous l'extrémité de la jupe interne constitue la zone de spallation proprement dite : le faisceau de protons quitte le gaz hélium pour frapper la surface libre du liquide cible et s'absorbe en 90 cm maximum ;
- la jupe externe sépare les flux montant et descendant du plomb cible liquide qui circule entre la zone de spallation et le circuit de refroidissement (placé hors de la cuve).

Pour des raisons de compatibilité physico-chimique des matériaux, l'ensemble de cette structure est placé dans un autre tube constitué d'un alliage différent. Des études expérimentales sur les dommages

induits par les neutrons sur ces structures ont été accomplies au *Los Alamos Neutron Science Center*. Elles ont permis d'établir que la durée de vie des parties les plus exposées devrait être d'au moins un à deux ans ⁽²¹⁾.

L'utilisation de cette méthode permet d'éviter la présence d'une fenêtre « chaude » au lieu où le faisceau commence d'interagir avec la cible. Cependant je pense pouvoir remarquer que l'ajustement respectif des pressions dans les circuits d'hélium et de plomb nécessite un pilotage précis car une variation de la hauteur de surface libre de la cible modifiera la répartition verticale du flux neutronique dans le coeur du réacteur. Je n'ai évidemment pas d'indication très précise sur l'ampleur éventuelle de ce phénomène.

A cause de la présence de nombreux éléments légers dans le combustible à sel fondu qui était proposé par C. BOWMAN (lithium, béryllium, fluor...) le réacteur utilise un spectre de neutrons thermiques. Les neutrons rapides issus de la spallation sont « thermalisés » par un réseau de graphite percé de canaux où circule le combustible liquide (sel fondu). Le graphite a été retenu en raison de sa compatibilité physico-chimique avec le combustible même aux températures relativement élevées présentes dans le coeur. Cependant afin de conserver intactes ses propriétés tout au long de la durée de vie prévue de l'installation, la densité volumique de puissance admise dans le coeur a été limitée par conception à 5 W.cm^{-3} dans la région de modération.

En effet le graphite est sujet à une dégradation sensible sous irradiation neutronique : il se contracte puis se dilate au-delà d'une certaine valeur de la fluence ⁽²²⁾.

²¹ J.F. STUBBINS et al., « Behavior of Structural and Target Materials Irradiated in Spallation Neutron Environments », *Proc. Int. Conf. on Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications*, p. 879, Las Vegas, 1994.

Cette dilatation entraîne une diminution de densité et peut faire apparaître des fissures ou des vides dans la structure du graphite ; celui-ci deviendrait alors perméable au sel fondu.

L'équipe BOWMAN indiquait que, en raison de la purification constante du combustible, les flux neutroniques présents dans le coeur même à une densité de puissance aussi réduite atteignent encore 2 à $5 \cdot 10^{14}$ voire 10^{15} n.cm⁻².s⁻¹, selon que l'on utilise du combustible au thorium ou du combustible fortement chargé en actinides. Pour un flux d'environ 10^{14} n.cm⁻².s⁻¹ on peut craindre l'effet des « poisons neutroniques » tels que le xénon sur la stabilité du comportement du coeur. Dans les combustibles solides, le xénon retenu dans la structure du combustible donne lieu à une instabilité spatiale de puissance. Dans le système BOWMAN où le combustible liquide est constamment mélangé, on ne doit pas attendre d'augmentation des concentrations locales de xénon. Les seules instabilités pourraient provenir de la fixation de xénon dans le graphite. Cependant le traitement en continu du combustible laisse penser que la quantité de xénon susceptible de se fixer à l'intérieur du réacteur restera limitée.

Le combustible choisi pour alimenter le réacteur est un sel fondu constitué d'un mélange de fluorure de lithium et de fluorure de béryllium dans des proportions respectives de 67% et 33%. Le point de fusion de cet eutectique est de 450°C et son point d'ébullition est à 1700°C environ ; la température de fonctionnement est comprise entre 600 et 700°C. A ces températures la pression de vapeur du sel est minime ce qui permet d'opérer à la pression atmosphérique. Tous les éléments peuvent être dissous de manière adéquate dans le sel, donc passer dans le réacteur pour y être irradiés, tandis que le sel lui-même réagit peu avec l'air, l'eau, le béton, etc. évitant ainsi les problèmes traditionnels liés à l'utilisation du sodium dans les réacteurs à neutrons rapides. Enfin l'utilisation de l'isotope pur Li₇ permettra de réduire l'absorption des neutrons dans le sel.

L'équipe BOWMAN insistait sur l'expérience significative en matière de réacteurs à sels fondus disponible aux États-Unis : *"les sels fondus comme combustible de réacteur et comme liquide caloporteur ont fait l'objet de recherches et de développements depuis plus de 40 ans et leurs propriétés chimiques et physiques, y compris sous irradiation, sont excellentes."* Les auteurs rappelaient également qu'un petit réacteur à sel fondu (MSRE : *Molten Salt Reactor Experiment*) construit à Oak Ridge a fonctionné sans problème majeur de 1965 à 1969. A cette époque un panel avait conclu que les bases techniques suffisantes existaient pour passer à un réacteur de démonstration pour la production d'électricité. Un projet de réacteur surgénérateur à sel fondu (MSBR : *Molten Salt Breeder Reactor*) a commencé d'être développé mais a été abandonné rapidement. D'après les auteurs la cause de cet abandon serait le choix de la technique « classique » des réacteurs à neutrons rapides du fait de leur supériorité pour les besoins de la surgénération. En contrecoup c'est l'ensemble de la filière à sel fondu qui a été laissé de côté. Cependant l'équipe BOWMAN estimait que *"l'exploitation réussie du MSRE comme l'ampleur substantielle de la R&D sur les matériaux et techniques de sels fondus à Oak Ridge montrent qu'avec de simples prolongements [de R&D] dans certains domaines spécifiques on peut construire et exploiter avec succès un système hybride à sel fondu."*

²² Quantité de neutrons reçue par unité de surface. C'est aussi l'intégrale du flux de neutrons pendant tout le temps d'exposition.

Le choix du liquide caloporteur dans le circuit secondaire doit répondre à des impératifs précis ⁽²³⁾ : il doit avoir une faible pression de vapeur dans la plage de température de fonctionnement (500 à 700°C), doit être « compatible » côté échangeur primaire avec le sel combustible, compatible côté générateur de vapeur avec l'eau et la vapeur. Il doit également assurer un certain piégeage du tritium et tout au moins limiter son transfert vers la partie classique de la centrale. Le matériau choisi pour assurer le transport d'énergie dans le circuit secondaire est un mélange de fluorure de sodium (NaF) et de fluoroborate (NaBF₄). Aucune expérience de fonctionnement en réacteur n'existe pour ce dernier composé mais des travaux conduits dans le cadre du programme MSBR ont permis de révéler un certain nombre de problèmes : à haute température le fluoroborate se décompose et forme du BF₃, composé dangereux. Il se décompose également au contact du sel fondu et a une compatibilité limitée avec la vapeur car ses propriétés corrosives sont grandement accentuées par la présence d'humidité. Cependant estimait l'équipe BOWMAN *"ces difficultés ne remettent pas en cause l'utilisation de ce sel. L'une des plus importantes raisons qui amènent à retenir le fluoroborate comme liquide secondaire est sa capacité à retenir le tritium"* si le sel contient des traces de composés oxygénés. L'équipe BOWMAN reconnaissait cependant que *"des liquides caloporteurs alternatifs sont possibles, comme le plomb ou des alliages de plomb ou des sels à bas point de fusion."*

Au plan des structures, le projet de réacteur BOWMAN (prototype de 500 MW thermiques) se présentait sous la forme d'une cuve compacte de 7,5 m de diamètre pour un peu plus de 8 m de hauteur. Dans cette cuve sont inclus : le tube axial contenant le faisceau de protons et la cible de plomb ; le bloc de graphite percé de canaux, d'un diamètre d'environ 5 m ; les éléments de graphite réflecteurs de neutrons en périphérie de cuve ; les pompes assurant la circulation du sel combustible ; les échangeurs de chaleur ; les tuyauteries internes afférentes.

Le matériau structurel de base est l'alliage Hastelloy-N, utilisé à Oak Ridge dans le cadre du programme MSRE. L'utilisation de cet alliage demande cependant la poursuite de travaux de R&D car deux problèmes sont apparus sur le MSRE :

- la fragilisation par irradiation neutronique due à l'accumulation d'hélium, et à un moindre degré d'hydrogène, sur les surfaces intergranulaires ; cet hélium et cet hydrogène résultent de l'absorption de neutrons par le Ni₅₉, lui-même produit par capture neutronique du nickel présent dans l'alliage ; l'hélium provient aussi de réactions neutroniques sur des impuretés de bore présentes dans l'alliage ; afin d'assurer une durée de vie de 30 ans le projet MSBR (jamais réalisé) comportait sur la surface intérieure de la cuve une protection de graphite de 76 cm d'épaisseur destinée à réduire la fluence neutronique sur la cuve ;
- les tests pratiqués à la fin de l'exploitation du MSRE ont montré la présence de petites fissures sur la face exposée au sel fondu ; ces fissures ont été

²³ Les informations contenues dans ce paragraphe sont extraites de la consultation sur Internet des pages Web consacrées au projet ADIT par le serveur du *Los Alamos National Laboratory*, qui n'ont pas été mises à jour depuis juillet 1996.

ultérieurement identifiées comme dues à l'accumulation de tellure (produit de fission) sur les surfaces intergranulaires.

L'équipe BOWMAN mentionnait que des travaux conduits après l'arrêt définitif du MSRE ont débouché sur des solutions à ces difficultés, par l'ajout de divers composants dans l'alliage initial et par la modification des propriétés oxydantes du sel fondu. Par ailleurs, *"la disponibilité d'un matériau structural adéquat dans le programme de réacteur à sel fondu a permis de conduire un travail considérable d'ingénierie à Oak Ridge pour la conception et la fabrication de composants adaptés à une exploitation dans un sel fondu de fluor. Des pompes résistantes à la corrosion, des soupapes et des échangeurs de chaleur capables d'être exploités de façon fiable à haute température ont été mis en oeuvre sur le MSRE."*

Les pompes de puissance plus importantes qui étaient nécessaires dans le prototype du projet BOWMAN n'ont pas encore été conçues. Les soupapes requises par le projet BOWMAN avaient des fonctions variées : isolement de certaines portions des circuits, changements de direction pour les écoulements de fluides, modulation des flux de liquides pendant les transitoires importants, etc. Or le seul type de soupapes installées sur le MSRE était en « tout ou rien », utilisant une technique particulière que l'on pourrait appeler le « bouchon gelé » : les drains des circuits étaient assurés par des portions de tubes entourées de chaufferettes et réfrigérants dont l'action permettait de solidifier ou liquéfier un bouchon de matière. *"Bien qu'une grande expérience soit disponible pour plusieurs types de soupapes destinées à être exploitées dans des métaux liquides à des températures comparables, un travail considérable est requis pour une application satisfaisante de ces matériels à un environnement de sel fondu."* Enfin l'équipe BOWMAN notait que *"l'exploitation des échangeurs de chaleur dans le MSRE a été fiable malgré une capacité plus faible que prévue. Il n'y a pas eu d'évidence de corrosion ou d'érosion. Le dispositif expérimental proposé dans le cadre d'ADTT avec le mélange NaF-NaBF₄ comme liquide secondaire dérive de nombreux tests résultant du projet MSBR mais aucune expérience réelle n'a été faite. Les connaissances actuelles apparaissent cependant suffisantes pour justifier que la conception de l'échangeur de chaleur soit fondée sur des corrélations avec des fluides normaux, une fois que les propriétés physiques auront été mesurées avec précision."*

En définitive, pour l'équipe BOWMAN, un projet ADTT pouvait être construit sur la base de l'expérience du MSRE et des bonnes performances constatées pour le sel LiF-BeF₂, le système de confinement et les matériels associés, avec les techniques bien meilleures dont on dispose dans les années 90.

On le voit, tous ces projets ont en commun d'être fondés sur des systèmes hybrides mais dans chaque cas, autour d'un principe de base identique, des variations importantes peuvent être apportées : spectre neutronique thermique ou rapide, combustible liquide ou solide, nature du liquide caloporteur, cible de spallation séparée ou intégrée au liquide caloporteur... Porter un jugement sur le projet RUBBIA nécessite donc de se pencher non seulement sur les caractéristiques générales des systèmes hybrides mais aussi sur les choix particuliers faits dans le cadre d'un projet précis.

A ce titre on doit admettre clairement et sans ambiguïté que le concept de réacteur avancé par l'équipe RUBBIA présente des qualités certaines, qu'il convient toutefois d'examiner de façon assez détaillée.

B. LE CONCEPT DE REACTEUR RUBBIA PRESENTE DES QUALITES CERTAINES

Selon ses promoteurs, l' « amplificateur d'énergie » serait *"un excellent candidat pour la fission nucléaire de deuxième génération."* Il serait en effet le représentant d'une nouvelle filière énergétique permettant *"de réduire son impact sur l'environnement et de résoudre le problème des déchets de durée de vie importante à l'échelle géologique, objet de craintes et d'une large opposition du public ; d'améliorer de façon radicale la sûreté nucléaire ; de couper le lien entre production d'énergie et prolifération nucléaire [...] ; d'en diminuer les coûts afin de la rendre compétitive [avec les énergies] fossiles."* En concluant ainsi son intervention préliminaire lors de l'audition du 21 novembre, C. RUBBIA énonçait en fait les rubriques sous lesquelles il convient d'effectuer l'évaluation de son projet.

Je tiens encore à rappeler que le but de mon propos dans ce passage n'est pas de pratiquer une évaluation scientifique exhaustive, argumentée, étayée de multiples références, calculs et autres considérations savantes. Je cherche simplement à clarifier les données, à mettre en regard de chaque élément avancé ou suggéré une opinion d'honnête homme qui ne prétend surtout pas exercer les compétences qu'il n'a pas.

1. UN REACTEUR RUBBIA PARAÎT BIEN PROTEGE CONTRE LES EVENEMENTS D'ORIGINE INTERNE

Si l'on veut juger de la sûreté d'un système nucléaire, il convient de rapporter ses caractéristiques aux trois grandes fonctions fondamentales de la sûreté nucléaire que sont : la maîtrise de la réactivité, le refroidissement du combustible, le confinement des matières radioactives.

1.1 La maîtrise de la réactivité présente certaines garanties intéressantes

1.1.1 Le réacteur RUBBIA est doté de plusieurs systèmes d'arrêt

Le réacteur RUBBIA est, on le sait, un système hybride où le cœur est donc constitué d'un milieu sous-critique. Par définition il s'agit d'un milieu où une réaction en chaîne autoentretenu est impossible. Dans ces conditions il suffit de supprimer la source externe de neutrons pour arrêter les fissions dans le cœur. En termes concrets, la coupure du faisceau de protons supprime toute réaction. Le premier système d'arrêt — et bien évidemment celui qui sera utilisé en premier lieu — est donc le système de contrôle de l'accélérateur. Le projet de réacteur RUBBIA évite ainsi de mettre en oeuvre les deux dispositifs d'arrêt utilisés dans les réacteurs traditionnels :

- les barres de commande, qui font intervenir des dispositifs électromécaniques complexes, qui nécessitent une électronique sophistiquée (détermination

précise de la position des barres) et qui introduisent un risque spécifique : le risque d'éjection de barres ; celui-ci a pour conséquences :

- une introduction brutale de réactivité dans le coeur puisqu'un élément absorbant de neutrons est soudainement retiré ;
 - une menace pour l'intégrité physique des barrières puisque suivant la cause de l'éjection de barre, l'ensemble du mécanisme peut être détruit et projeté violemment à l'intérieur de l'enceinte de confinement du fait de la pression régnant à l'intérieur du circuit primaire ; sur les REP une dalle « anti-missile » placée au-dessus de la cuve pendant le cycle de fonctionnement pare à cette dernière menace ;
- la borication de l'eau primaire, qui nécessite un système complexe de vannes et de réservoirs de bore et d'eau borée, ainsi que des dispositifs permettant de mesurer et d'ajuster la concentration du bore.

Dans le réacteur RUBBIA au contraire, le système d'arrêt principal par coupure du faisceau de protons est essentiellement situé et commandé à l'extérieur du réacteur, voire de l'enceinte de confinement. Il présente donc *a priori* une bonne garantie de fiabilité vis-à-vis de la structure réactive.

Deux dispositifs d'arrêt sont également prévus, dont le fonctionnement n'est cependant possible, de par leur conception même, qu'en situation incidentelle ou accidentelle. Tous deux sont fondés sur le fait que, si le dispositif d'évacuation de la chaleur est déficient et que l'on n'arrive pas à couper le faisceau de protons, il va se produire une surchauffe du plomb dans le circuit primaire ; celle-ci conduit à une forte dilatation du plomb⁽²⁴⁾. Suite à cette dilatation, le niveau de la surface libre du plomb dans la cuve va s'élever, dans une proportion d'environ 27 cm pour 100°C de variation de température. Deux dispositifs s'actionnent alors :

- le plomb liquide coule dans un système de « siphon » (tube en U) normalement rempli d'hélium ; une barre absorbante de neutrons à base de bore (le projet RUBBIA indique un composé B_4C) placée au fond du tube est alors poussée vers le haut par la pression du plomb : elle monte dans la deuxième branche du tube en U et se positionne dans le coeur ; la réaction en chaîne est ainsi étouffée même si le faisceau de protons continue de bombarder la cible de spallation ;
- un dispositif similaire placé en haut de cuve conduit le plomb à couler dans une petite cuve placée en haut du tube à vide transportant le faisceau de protons (*Emergency Beam Dump Volume*) ; une petite valve automatique empêche le plomb fondu de couler dans le tube ; le faisceau de protons est absorbé par le plomb qui emplit désormais l'EBDV et la cible de spallation se « déplace » ainsi hors de la zone du coeur ; le réacteur sous-critique n'est plus alimenté en neutrons extérieurs : la réaction en chaîne s'arrête.

²⁴ Cette propriété sera mise en évidence de façon plus précise dans les paragraphes consacrés au refroidissement.

Ces deux systèmes n'ont vocation à être utilisés qu'en situation incidentelle ou accidentelle. Apparemment certains passages de la présentation donnée par C. RUBBIA sur les conditions d'utilisation du premier de ces dispositifs ont pu poser des problèmes de compréhension. Dans [CR-95] il est indiqué que *"des dispositifs d'arrêt sont utilisés pour ancrer le [coefficient de multiplication] k de l'amplificateur d'énergie à une valeur suffisamment faible pendant les arrêts, les situations d'urgence, etc. Ceci est réalisé à l'aide d'une série de blocs de CB_4 , disposés convenablement à travers le coeur. Ce matériau est très efficace : environ 20 kg de CB_4 répartis uniformément dans le coeur induisent une variation de réactivité $\Delta k = -0,04$. Il existe trois catégories de tels dispositifs : (1) un système d'arrêt automatique ordinaire, grâce à un dispositif mécanique approprié et à mouvement rapide ; (2) un système d'arrêt d'urgence, fondé sur le design de l'« arrêt ultime » pour l'ALMR, dans lequel des sphères de CB_4 sont propulsées par gravité dans un tube qui plonge jusqu'au coeur ; (3) le Système d'arrêt Actionné par Plomb Fondu (MLAS)^a décrit ci-dessus.*

Le texte peut sembler suggérer que l'amplificateur d'énergie est équipé de ces trois systèmes, susceptibles d'être utilisés (au moins pour certains) pour les arrêts normaux du réacteur ('shutdowns'). Par exemple, dans un document analysant le projet RUBBIA, P. WYDLER, du Paul Scherrer Institut (Zürich) estime que ces trois dispositifs sont présents.

Or dans les schémas présentés par l'équipe RUBBIA on ne voit pas apparaître les barres de commande qui semblent classiquement relever du (1) ni le dispositif d'urgence du genre ALMR évoqué au (2). Il me semble ainsi que seul existe le système d'arrêt d'urgence utilisable en situation incidentelle/accidentelle, sans que le réacteur RUBBIA ne soit doté d'un système « réversible » d'arrêt par absorption de neutrons.

Il est clair que des compléments devront être apportés à ce schéma, concernant par exemple la détermination de la quantité de barres absorbantes nécessaires pour assurer un arrêt en toutes circonstances ⁽²⁵⁾, la démonstration que le positionnement des barres se fera au bon endroit, etc. Par ailleurs, en l'état actuel du projet, l'histoire ne dit pas quelles dispositions sont retenues pour replacer les barres dans leur position basse une fois le réacteur ramené dans un état sûr...

Au demeurant reconnaissons qu'il s'agit ici d'un système de sauvegarde de dernier recours, dont la mise en oeuvre ne s'effectue que dans un état très « perturbé » du réacteur. Il est donc légitime que toutes les questions ne soient pas encore résolues, y compris celles touchant à la remise en état d'un réacteur utilisable après la mise en oeuvre du système ultime.

1.1.2 Le réacteur RUBBIA présente des coefficients de réaction en général négatifs

Un facteur important de sûreté pour les réacteurs nucléaires est leur capacité à montrer une relative stabilité pour des perturbations (au moins légères) autour de leur point de fonctionnement nominal.

²⁵ Je pense essentiellement aux marges de sécurité nécessaires concernant les fluctuations dans l'intensité du faisceau de protons et la réactivité du combustible.

Tout d'abord le coefficient Doppler du combustible est négatif. Ce coefficient est le facteur de proportionnalité entre la variation de réactivité $\delta\rho$ d'un combustible et la variation de température δT auquel ce combustible est soumis :

$$\delta\rho = \alpha_{\text{Doppler}} \cdot \delta T_{\text{combustible}} \quad \text{avec } \alpha_{\text{Doppler}} \text{ négatif}$$

Supposons une augmentation locale de réactivité $\Delta\rho$; le nombre de fissions dans le combustible va s'accroître, donc l'énergie dégagée dans le combustible ; sa température va également s'accroître, de δT . Puisque le coefficient Doppler est négatif, il va s'ensuivre une variation de réactivité $\delta\rho$ qui sera elle aussi négative. Au total, la variation de réactivité dans le combustible ne sera plus que $\Delta\rho + \delta\rho$, c'est-à-dire une valeur inférieure à $\Delta\rho$: le comportement a donc été stabilisé. Rappelons que l'effet Doppler découle de l'accroissement de l'absorption neutronique, lui-même dû à l'élargissement des sections efficaces d'absorption avec la température.

Un effet similaire découle des variations éventuelles de la température du liquide caloporteur. Le coefficient de proportionnalité entre variation de réactivité et variation de température est négatif :

$$\delta\rho = \alpha_{T_{\text{plomb}}} \cdot \delta T_{\text{plomb}} \quad \text{avec } \alpha_{T_{\text{plomb}}} \text{ négatif}$$

Troisième effet stabilisateur : le coefficient de vide du plomb est négatif. Ceci veut dire qu'une variation δd de la densité du plomb (par exemple provoquée par une augmentation de température) entraîne une variation $\delta\rho$ de la réactivité de même sens ⁽²⁶⁾. Il s'ensuit que le coeur est — dans une certaine mesure — protégé en termes de réactivité contre une perte de liquide caloporteur. Cependant il semble qu'il faille établir une distinction entre perte globale et perte locale du fluide caloporteur. Dans son annexe 5, le rapport du Comité scientifique et technique de l'EURATOM consacré à une évaluation du projet RUBBIA ⁽²⁷⁾ indique ainsi que *"en dépit du fait qu'une vidange complète du coeur de l'Amplificateur d'énergie réduirait la réactivité, un vide local peut avoir pour conséquence un accroissement significatif de la réactivité. De tels effets locaux nécessitent des analyses minutieuses. On doit s'assurer que des scénarios tels que des bulles de gaz, une intrusion de vapeur venant du côté secondaire ou un sabotage qui déboucherait sur un vidange locale significative sont exclus ou suffisamment improbables."*

Le novice que je suis est quelque peu surpris de voir des conséquences diamétralement opposées découler de scénarios qualitativement identiques mais quantitativement différents (vidange locale ou vidange globale). J'ai pourtant la faiblesse de croire qu'un papier écrit sous la signature d'un expert du GRS, l'équivalent allemand de l'IPSN, ne doit pas raconter n'importe quoi. Je dois relever que dans [CR-95], l'équipe RUBBIA ne mentionne pas cette possibilité d'avoir un effet de vide positif en cas de vidange locale. On peut lire en effet en page 86 *"le coefficient de vide du plomb est*

²⁶ Attention à ne pas se faire piéger par une expression trompeuse : lorsqu'on parle de « coefficient de vide » négatif il faut bien se souvenir que le « vide » du plomb est l'inverse de sa densité : si le « vide » augmente, la densité diminue, donc les coefficients concernés sont de signe opposés :

$$\frac{\delta\rho}{\delta \text{ « vide » }} \text{ est négatif mais } \frac{\delta\rho}{\delta d} \text{ est positif !}$$

²⁷ Une présentation générale de ce rapport est faite au C.2.3.

négalif et dès lors les mesures quelque peu malcommodes qui sont prises d'habitude avec un système refroidi au sodium ne sont plus nécessaires. " On trouve de même en page 77 que *"le coefficient de vide du sodium est notoirement positif, c'est-à-dire que la formation de bulles augmente la réactivité. Dans le plomb le coefficient de vide est négatif."* Dans ce dernier passage surtout, l'appréciation de l'équipe RUBBIA s'inscrit dans une perspective purement locale (formation de bulles). Il y a donc ici une divergence essentielle entre l'opinion de l'équipe RUBBIA et l'opinion annexée au rapport du Comité scientifique et technique de l'EURATOM.

Cette dernière rejoint l'avis exprimé par l'IPSN dans la note que l'Institut m'a communiquée à l'occasion de l'audition du 21 novembre. Il y est écrit que *"l'utilisation de plomb au lieu de sodium dans un réacteur à neutrons rapides permet de réduire le coefficient de vide dans certains cas, mais sans doute pas de le rendre négatif en toutes circonstances (vidange d'une zone centrale, fin de vie)."*

Je voudrais enfin noter ici que, dans l'étude des réacteurs, il apparaît parfois que la contre-réaction due aux variations de densité et de température du fluide caloporteur (lorsque les coefficients de réaction sont négatifs) peut entraîner des instabilités de réactivité. Celles-ci sont dues au fait que l'état thermodynamique du caloporteur évolue de façon lente par rapport aux autres paramètres neutroniques et thermiques du coeur (en particulier dans le combustible) et que les effets de contre-réaction associés peuvent en quelque sorte se manifester à « contre-temps ».

Dernier point à examiner : le comportement de la réactivité en cas de modification de la géométrie du coeur. Sauf erreur de ma part, rien n'est dit sur ce sujet dans les publications de l'équipe RUBBIA. De son côté le rapport du Comité scientifique et technique de l'EURATOM rappelle dans son annexe 5 que *"le coeur de l'Amplificateur d'énergie (comme pour tout réacteur rapide) n'est pas dans la configuration géométrique de réactivité maximale. Cette situation est fondamentalement différente de celle d'un coeur de réacteur à eau légère où la géométrie représente l'état de plus forte réactivité ; toute expansion ou compaction du coeur ferait décroître la réactivité. Au contraire, dans l'Amplificateur d'énergie, une compression du coeur accroîtrait la réactivité. Ainsi une solidification du plomb pourrait déboucher sur un léger accroissement de réactivité en réduisant la distance entre les aiguilles de combustible. Des effets plus importants pourraient survenir en cas d'événement externe comme un séisme. De tels initiateurs d'accidents peuvent être extrêmement improbables mais il sera difficile d'exclure complètement leur éventualité."* Affaire à suivre donc...

Enfin il faut mentionner un intéressant tableau dressé dans le rapport du Comité EURATOM. Il compare les valeurs des coefficients de réaction pour l'Amplificateur d'énergie et pour les REP typiques.

La 4^{ème} ligne est en quelque sorte l'antithèse de la 1^{ère} : elle mesure l'effet de réactivité Doppler sur l'intervalle total de température qui sépare un état « froid » d'un état « chaud » du réacteur. Puisque le coefficient Doppler est négatif, il s'ensuit que la réactivité d'un coeur froid est plus élevée que celle d'un coeur chaud. Cependant il n'est pas dit dans le rapport EURATOM à quelle situation correspond le coeur « froid » dans le cas du réacteur RUBBIA : température ambiante ? température comparable (légèrement

supérieure) à la température de fusion du plomb ? température du réacteur à l'arrêt mais opérationnel (notion d'« arrêt à froid ») ?

Comparaison de certaines caractéristiques de réactivité de l'AE et d'un REP

(pcm = "pour cent mille")	Réacteur RUBBIA	REP typique
Coefficient Doppler (pcm.°C ⁻¹)	-1,4	-2 à -4
Effet de vide du fluide caloporteur (vide complet)	-0,01 (a)	< -0,1
Coefficient de température du fluide caloporteur (pcm.°C ⁻¹)	-0,14	-50 à -70
Différence réacteur froid / réacteur chaud (pcm)	2000 (b)	800 à 5000
Variation de réactivité due à l'irradiation	-0,02 à -0,03	-0,12
Réactivité xénon	négligeable	3000
Réactivité totale des barres de commandes (pcm)	sans objet	8000

(a) varie de façon significative selon la géométrie du coeur

(b) ne prend pas en compte l'effet de réactivité due à une éventuelle compression du coeur consécutive à la solidification du plomb

Notons que la 5^{ème} ligne n'a pas véritablement sa place ici. Elle est en effet relative aux évolutions de réactivité dues à l'irradiation progressive du combustible. Présenter sur le même plan les "-0,02 à -0,03" du réacteur RUBBIA et les "-0,12" du REP c'est ignorer que le REP étant un réacteur critique, chaque cycle commence avec un excédent de réactivité de 0,12 par rapport à la fin de la campagne, et qu'il faut donc compenser de façon « artificielle » cet excédent pour conserver le réacteur dans un état stable. Au contraire dans l'Amplificateur d'énergie le système est sous-critique et les variations de réactivité sont compensées au niveau de la puissance fournie par le réacteur grâce à un ajustement de la puissance délivrée dans le faisceau de protons. La façon de présenter les choses est ici un peu biaisée : la variation de réactivité portée sur cette 5^{ème} ligne n'a pas grand chose à voir avec les phénomènes de contre-réaction étudiés dans le cadre de la dynamique de stabilité-instabilité du réacteur autour de son point nominal de fonctionnement.

Il n'empêche, on ne peut que reprendre l'appréciation donnée dans cette annexe au CST : les effets de contre-réaction dans le réacteur RUBBIA sont bien plus faibles que ceux qui se manifestent dans les REP. Ceux-ci sont donc intrinsèquement plus stables que le réacteur RUBBIA. Le rédacteur de cette annexe rappelle enfin que, dans un réacteur sous-critique, les effets de contre-réaction sont par nature moins essentiels pour la sûreté que dans un réacteur critique.

1.1.3 Le réacteur RUBBIA montre une bonne robustesse aux insertions de réactivité

L'étude des insertions de réactivité est une figure imposée des démonstrations de sûreté pour les réacteurs nucléaires. Il s'agit de connaître le comportement du réacteur dans le cas où sa réactivité augmente « brusquement ». On utilise à cette fin des scénarios que l'on s'efforce d'être représentatifs de situations envisageables dans la réalité, qui génèraient des transitoires rapides. L'étude des insertions de réactivité repose donc sur des modélisations de la cinétique du réacteur. Elle fait intervenir des paramètres nombreux parmi lesquels :

— la forme temporelle de l'insertion de réactivité ;

- la valeur des coefficients de réaction (évoqués au 1.1.2) ;
- la cinétique élémentaire de la fission dans le milieu considéré, à savoir essentiellement la proportion entre neutrons immédiats et neutrons retardés (répartis selon la panoplie des précurseurs présents dans le milieu) et la durée de vie moyenne des neutrons immédiats ;

L'objet de la modélisation consiste à évaluer la façon dont évolue la réactivité du combustible d'une part, la densité volumique de puissance d'autre part. Il s'agit ainsi d'estimer le risque et éventuellement l'ampleur des dommages susceptibles d'être causés à la structure du combustible.

Trois types d'accidents de réactivité ont été traités par l'équipe RUBBLA :

- une « rampe » lente (insertion linéaire) au taux de $170 \text{ \$} \cdot \text{s}^{-1}$ pour une durée de 15 s ⁽²⁸⁾, ce qui correspond dans le cas d'un réacteur classique au retrait d'une barre de commande à la vitesse de $0,55 \text{ cm} \cdot \text{ms}^{-1}$; après ce temps la réactivité est maintenue constante ;
- une rampe rapide de $250 \text{ \$} \cdot \text{s}^{-1}$, soit une vitesse de retrait de barre de $0,88 \text{ cm} \cdot \text{ms}^{-1}$ (cas d'un réacteur) ; après, la réactivité est maintenue constante ;
- une surchauffe du réacteur due à un doublement de l'intensité du faisceau de protons.

Les deux premiers cas permettent d'établir une comparaison avec les calculs de transitoires rapides pour un réacteur critique identique par ailleurs au réacteur RUBBLA (donc en particulier refroidi au plomb). Comme on pouvait s'y attendre, le réacteur RUBBLA montre un comportement bien meilleur que le réacteur critique, et les évolutions énergétiques qui se produisent dans le combustible y sont bien moins dangereuses. Il apparaît ainsi que l'excursion de puissance pour le réacteur critique conduit à atteindre au bout de 7 ms un pic de puissance égal à 100 fois la valeur nominale de fonctionnement, suivi à 9 ms d'un second pic un peu moins élevé puis d'une stabilisation à plusieurs dizaines de fois la puissance nominale une fois que l'effet de réactivité Doppler agit pleinement. Cependant la température moyenne du combustible continue de croître jusque vers 15 ms (du fait de l'inertie thermique du matériau), date à laquelle elle est 50% plus élevée que la température nominale de fonctionnement (soit 1250°C environ).

Dans le cas d'un réacteur RUBBLA exploité avec un coefficient de multiplication k égal à 0,98, la puissance n'a augmenté que de 42% après 15 ms. Après cette date la puissance reste constante si le faisceau n'a pas été coupée, elle diminue régulièrement si le faisceau est coupé. L'énergie totale libérée lors de l'excursion de puissance est près de 40 fois plus faible que pour le réacteur critique. La température du combustible croît régulièrement mais beaucoup plus lentement (+8% au bout de 20 ms).

²⁸ Il convient de rappeler ici que le \$ est une unité « relative » de réactivité, définie par le rapport entre la réactivité « absolue » ρ du réacteur et la proportion β de neutrons retardés, qui dépend uniquement de l'élément fissile considéré : $\rho/\beta = 1\$$ par définition. Une réactivité de 0,1 \$ correspond donc pour U_{235} à 70 pcm et pour Pu_{239} à 21 pcm par exemple. L'utilisation de cette unité est justifiée par le fait que, en cinétique, c'est souvent le rapport ρ/β qui apparaît dans les équations.

Dans le deuxième cas étudié les effets énergétiques sont plus importants et plus rapides mais les conclusions comparées sont les mêmes. Le troisième cas montre toutes les qualités du système sous-critique : l'augmentation de l'intensité du faisceau de protons provoque une augmentation de la population de neutrons dans le réacteur, donc une augmentation des fissions induites, donc une augmentation de l'énergie dégagée, donc une augmentation de la température du combustible. Le seul effet neutronique qui se manifeste alors est une diminution de la réactivité due à l'effet Doppler, tandis que l'accroissement de la température du combustible reste modéré (+10% au bout de 100 ms mais on n'a pas d'indication sur le temps nécessaire pour que la température se stabilise ni sur le niveau auquel cette stabilisation s'effectue).

Quoi qu'il en soit, on ne peut aller à l'encontre des conclusions de l'équipe RUBBIA, qui estime ainsi que *"l'Amplificateur d'énergie répond de façon beaucoup plus bénigne qu'un réacteur critique à une insertion de réactivité. En vérité aucune excursion de puissance conduisant à des niveaux de puissance élevés n'est possible pour des insertions positives de réactivité qui restent de l'ordre de grandeur de la sous-criticité [initiale] ainsi que pour une surchauffe due à l'accélérateur."*

Au demeurant il aurait certainement été judicieux de pratiquer aussi la même évaluation comparative (avec les mêmes scénarios) entre le réacteur RUBBIA et un REP typique. On a vu en effet au 1.1.2 que les coefficients de réaction des REP sont plus élevés que ceux du réacteur RUBBIA. Les effets stabilisateurs sont ainsi plus forts et l'ampleur de l'excursion de puissance comme ses conséquences moins élevées. Une démarche comparative complète aurait été de bon aloi puisqu'il est toujours intéressant de comparer le futur prédit à l'existant observable...

1.1.4 Le réacteur RUBBIA manque cependant d'un système de contrôle permettant de compenser les évolutions spontanées de réactivité du combustible

Il s'agit là d'un défaut important — pour ceux qui s'affichent réticents au projet RUBBIA — ou d'une divergence majeure de « philosophie » avec les réacteurs traditionnels — pour ceux qui seraient plutôt favorables. J'ai évoqué au paragraphe 1.2.2 de la première partie (A.) le fait que la composition du combustible tend vers un équilibre après un temps d'irradiation suffisamment long. Dans ces conditions, le rapport des concentrations en U_{233} et Th_{232} tend vers une constante, qui ne dépend en première approximation que du rapport de certaines sections efficaces pour ces deux éléments. Dans une approche plus précise il faut tenir compte du flux neutronique et de son influence sur l'apparition d'autres éléments que ceux de la chaîne radioactive « primordiale » $Th_{232} \rightarrow Th_{233} \rightarrow Pa_{233} \rightarrow U_{233}$.

En tout état de cause, il apparaît que la durée de vie de Pa_{233} , tout à fait significative (27 jours), conduit à une augmentation de la réactivité du combustible après un arrêt du réacteur. Supposons pour simplifier que, suite à une irradiation suffisamment longue, la composition du combustible soit parvenue à son état d'équilibre. L'arrêt du réacteur entraîne simultanément

— l'arrêt de la première étape sur la chaîne $Th_{232} \rightarrow U_{233}$ puisqu'il n'y a plus de neutrons pour passer de Th_{232} à Th_{233} par capture neutronique ;

- l'arrêt de la disparition d' U_{233} par fission puisque, le milieu étant sous-critique, une réaction en chaîne auto-entretenu est impossible.

La création de Th_{233} est donc interrompue. Cependant le stock de Th_{233} présent dans le combustible se désintègre en Pa_{233} avec une durée de demi-vie de 22 minutes : on peut considérer qu'au bout de quelques heures l'intégralité du Th_{233} a disparu au profit de Pa_{233} . Celui-ci est également sujet à une désintégration radioactive qui conduit à la formation d' U_{233} . Il s'ensuit que la quantité d' U_{233} présente dans le combustible s'accroît après l'arrêt. U_{233} étant fissile, il y a ainsi un accroissement de la réactivité du combustible après un arrêt du réacteur. La durée de demi-vie relativement importante de Pa_{233} a deux conséquences qui vont en sens contraire pour la sûreté du réacteur :

- la réactivité n'augmente que lentement, puisque la désintégration en U_{233} est elle-même assez lente ; cela laisse ainsi aux opérateurs du réacteur le temps de mettre en oeuvre les dispositions de conduite appropriées ; ce fait est bien évidemment relevé dans les publications de l'équipe RUBBIA ;
- le stock de Pa_{233} est « relativement important » puisque son taux de formation est plus rapide que son taux de destruction ⁽²⁹⁾ ; la quantité d' U_{233} formée après l'arrêt est donc « relativement importante ».

Au-delà du principe, il importe alors de préciser une évaluation numérique du phénomène. Des indications sont données dans [CR-95] : il apparaît ainsi que, dans les conditions précisées dans le texte, la variation relative du coefficient de multiplication k atteint "au maximum" 2,08% ⁽³⁰⁾. Remarquons immédiatement que, si le régime normal de fonctionnement du réacteur a été fixé avec un $k = 0,98$, l'accroissement de réactivité de 2% conduit le réacteur (à l'asymptote) dans un état presque critique puisque la valeur de k s'approche alors très près de 1. On s'explique mieux alors la formule quelque peu alambiquée employée par l'équipe RUBBIA dans les lignes qui précèdent : *"l'ampleur d'une telle variation de réactivité consécutive à un arrêt ne devrait pas présenter de problème, mais des mesures appropriées seraient requises pour corriger ses effets."* ⁽³¹⁾

Ce phénomène, lié aux évolutions du flux neutronique dans le réacteur, est valable aussi pour des variations provisoires de puissance qui seraient éventuellement souhaitées au cours d'un cycle de fonctionnement (par exemple si l'on voulait faire du suivi de charge sur le réseau électrique). Une réduction de la puissance thermique du réacteur se traduit avec quelques jours de retard par une augmentation de la réactivité ; en sens inverse, une augmentation de la puissance thermique du réacteur entraînerait une réduction (retardée) de la réactivité puisque l'on consommerait alors plus d' U_{233} qu'il ne s'en régénérerait par désintégration de Pa_{233} , pendant une période transitoire.

²⁹ Comme le faisait remarquer de façon imagée C. RUBBIA lors de l'audition du 21 novembre, c'est le problème classique des baignoires qui se remplissent et se vident à des rythmes différents !

³⁰ Le texte met aussi en évidence le fait que l'effet de réactivité est bien moins important pour un réacteur rapide que pour un réacteur thermique : pour celui-ci la variation relative du coefficient de multiplication k atteint plus de 5%. Ceci s'explique par le fait que dans un Amplificateur d'énergie fonctionnant en neutrons thermiques la concentration d' U_{233} à l'équilibre est près de 10 fois moins importante que dans l'Amplificateur d'énergie fonctionnant en neutrons rapides.

³¹ Voir C. RUBBIA et al., *Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier*, CERN/AT/95-44 (ET), septembre 1995, et plus spécialement les pages 33-34.

Comment compenser ce phénomène ? La puissance générée dans le combustible est contrôlée par la puissance du faisceau de protons... en partie seulement puisque les développements précédents évoquent justement des évolutions lentes de la réactivité, donc du gain de l'Amplificateur d'énergie. C'est donc sur uniquement sur l'ajustement de la puissance du faisceau que repose la maîtrise des conditions d'exploitation du réacteur, avec les limites et les difficultés que peuvent poser la présence de phénomènes retardés.

Il est vrai que les dispositions retenues pour le refroidissement du combustible et l'évacuation de la puissance dissipée dans le réacteur rendent l'équipe RUBBIA confiante dans le fait que le réacteur pourrait supporter des évolutions de réactivité intempestives : *"Normalement l'Amplificateur d'Énergie est loin de la criticité à tout instant [...]. Cependant il pourrait devenir critique dans des circonstances imprévisibles. En soi ce mode d'exploitation, bien qu'exceptionnel, n'est pas inacceptable tant que la puissance produite ne dépasse pas les limites de conception de l'Amplificateur d'Énergie."*

1.2 L'évacuation de la puissance thermique repose entièrement sur des systèmes passifs

1.2.1 Le réacteur RUBBIA retient le plomb comme liquide caloporteur

Le système de refroidissement proposé dans le réacteur RUBBIA est fondé sur les propriétés thermodynamiques favorables du milieu retenu pour le fluide caloporteur : le plomb. Plusieurs qualités sont mises en avant par rapport au sodium :

Propriétés comparées du sodium et du plomb

	Sodium	Plomb	Unité
température de fusion	98	328	°C
température d'ébullition	880	1743	°C
pression de vapeur	24,13	$5 \cdot 10^{-4}$	torr
masse volumique	0,81	10,33	gr.cm ⁻³
capacité calorifique (en masse)	1,30	0,15	J.g ⁻¹ .K ⁻¹
capacité calorifique (en volume)	1,053	1,5495	J.cm ⁻³ .K ⁻¹
coefficient de dilatation thermique ($\times 10^{-4}$)	3,1938	1,3935	K ⁻¹
conductivité thermique	62,24	16,45	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
coefficient de transfert thermique ($\times 10^4$)	3,6	2,3	W.m ⁻² .K ⁻¹
viscosité dynamique ($\times 10^{-3}$)	0,206	1,55	N.s.m ⁻²
tension superficielle ($\times 10^{-3}$)	146	431	N.m ⁻¹
conductivité électrique		$9,4 \cdot 10^{-7}$	$\Omega.m$

A l'exception des deux premières lignes, toutes les valeurs sont indiquées pour une température de 600°C
L'unité et la valeur numérique portées à la dernière ligne du tableau suggèrent que cette ligne concerne la résistivité plutôt que la conductivité électrique du plomb.

— l'absence de réactivité chimique vis-à-vis de l'air et de l'eau ; on sait que des dispositions spéciales doivent être mises en oeuvre dans les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium : mise sous atmosphère inerte (argon) des circuits et zones les plus « sensibles », protection des structures en béton par des peaux en acier, doubles tuyauteries sur certaines lignes de circulation du sodium, nombreux systèmes de détection des fuites, etc. ; ces dispositions sont inutiles dans le cas du plomb ;

- une température d'ébullition plus élevée ; l'équipe RUBBIA note à cet égard que cette marge de sécurité plus importante vis-à-vis de l'ébullition permettrait dans une phase ultérieure d'augmenter la température moyenne de fonctionnement du réacteur de façon à améliorer le rendement de conversion en électricité ;
- une pression de vapeur très faible qui permet de concevoir le dispositif de coupure automatique du faisceau décrit au 1.1.1 ; en effet ce système implique de laisser ouverte une communication entre la surface libre du plomb et le vide de l'ensemble accélérateur-tube guide ; ceci n'est possible que si l'évaporation du plomb sous vide, à la température de fonctionnement considérée, reste suffisamment faible ; l'équipe RUBBIA indique qu'un dispositif « classique » de piège froid placé plus haut sur le tube à protons permet de récupérer les atomes de plomb qui pourraient se propager dans le vide vers l'intérieur du système accélérateur.

Cependant certaines caractéristiques sont défavorables au plomb. On peut citer par exemple :

- une plus grande densité, qui induit un comportement mécanique différent, en particulier une possibilité accrue d'érosion des structures ;
- une viscosité dynamique près de 7 fois supérieure, qui fait que la facilité d'écoulement du plomb liquide est bien moindre que celle du sodium⁽³²⁾ ; d'ailleurs la conception du réacteur RUBBIA est ajustée de façon que *"en général, pour avoir la même variation de température et de pression pour une puissance spécifique donnée, [...] le pas entre les aiguilles de combustible doit être élargi afin de procurer une aire de circulation 1,8 fois plus importante"* ;
- la conductivité thermique est moindre que pour le sodium, ce qui fait que les gradients de température s'atténuent moins vite ; cet effet peut être important à étudier en cas d'accroissement subi de la puissance spécifique dans les éléments combustibles ; le plomb évacuera-t-il dans sa masse aussi facilement que le sodium la chaleur produite dans le combustible ? de façon générale les transitoires de température du combustible seraient moins rapidement répercutés dans le liquide caloporteur, toutes choses égales par ailleurs.

En définitive il est bien difficile au non spécialiste de se faire une opinion tranchée sur la supériorité de l'un ou l'autre de ces deux fluides caloporteurs. A l'exception des Russes pour certains réacteurs de sous-marins, tous les concepteurs et constructeurs de réacteurs rapides ont jusqu'à présent choisi le sodium. Cette quasi-unanimité répond-elle à un hasard historique ou à une nécessité technique ? Certains choix de conception du réacteur RUBBIA (réacteur hybride qui nécessite une cible de spallation) peuvent amener à une préférence pour le plomb.

³² On sait par ailleurs que la viscosité du sodium est comparable à celle de l'eau, ce qui facilite grandement la mise au point des dispositifs actifs (pompes, vannes) ou passifs (tuyauteries) dans lesquels est amené à circuler ce liquide.

Il est clair aussi que, indépendamment de la stricte balance technique entre leurs avantages et leurs inconvénients, le plomb a cette qualité essentielle d'avoir une certaine « virginité médiatique » par rapport au sodium. Tout le monde a entendu parler des déboires de SUPERPHENIX dûs au sodium (incident du barillet en 1987, incident de pollution du sodium primaire en 1990), mais peu de gens dans le grand public savent les problèmes qu'ont rencontrés les Russes avec leurs réacteurs au plomb.

Il me paraît peu probable que, en l'occurrence, cette dernière « propriété » du plomb n'ait joué aucun rôle dans les choix de l'équipe RUBBIA.

1.2.2 Le refroidissement du coeur fait appel à la convection naturelle

Le réacteur RUBBIA est marqué par la volonté délibérée de renoncer aux avantages offerts par l'utilisation de la circulation forcée (grâce aux ensembles « classiques » de pompes primaires) pour le liquide caloporteur primaire : maîtrise des conditions de débit à chaque instant, y compris pendant les transitoires, compacité de la cuve, etc. L'équipe RUBBIA fait le choix de la simplicité en avançant deux arguments :

- l'absence de pompes réduit le nombre d'engins mécaniques complexes dans le circuit primaire donc les besoins de maintenance ;
- ce choix élimine le risque de perte de refroidissement primaire par arrêt intempestif des pompes.

Le concept de réacteur proposé par C. RUBBIA part donc du principe que la convection naturelle ne peut faillir. Sa mise en oeuvre repose sur la forte valeur du coefficient d'expansion thermique du plomb ($1,32 \text{ kg.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$) qui mesure en quelque sorte la variation de la masse volumique du plomb en fonction de la température (au signe près !).

Soumis à une augmentation de température le liquide caloporteur va se dilater, exerçant ainsi une pression sur l'ensemble de sa masse. Cette pression, apparue au niveau du coeur c'est-à-dire dans le fond de la cuve, va mettre en mouvement l'ensemble de la colonne de plomb située au-dessus du coeur : elle est le « moteur » du fluide primaire.

En régime stationnaire le gain de pression apparu au niveau du coeur est compensé par les pertes de pression dans l'ensemble du circuit, dues essentiellement aux phénomènes d'écoulements hydrauliques. Ces pertes apparaissent dans le coeur, dans les échangeurs de chaleur et dans une moindre mesure tout au long du parcours suivi par le plomb dans la cuve. Par ailleurs la pression de convection doit être suffisamment élevée pour donner au liquide caloporteur une vitesse permettant d'évacuer correctement l'énergie dégagée dans le coeur par la fission.

L'approche quantitative de l'ensemble de ces phénomènes est abordée de la façon suivante dans les publications de l'équipe RUBBIA :

- l'accroissement de température dans le fluide est un paramètre fixé au départ comme base de conception ⁽³³⁾ ;
- compte tenu de la hauteur de la colonne de plomb (pratiquement égale à la hauteur de cuve) et des caractéristiques thermodynamiques du plomb, on en déduit la pression motrice de convection ;
- l'équipe RUBBIA pose de façon arbitraire que la perte de pression dans le coeur (due au mouvement du plomb) « absorbe » 70% de la pression motrice, *"de façon à donner une marge suffisante pour les autres pertes de pression"* ;
- la perte de pression dans le coeur est liée à sa configuration géométrique ⁽³⁴⁾, à la viscosité et la densité du plomb ainsi qu'à sa vitesse de circulation ; dans une configuration géométrique donnée et compte tenu de la variation de température fixée comme paramètre de conception, la vitesse de circulation dépend de la puissance dégagée dans le combustible.

On voit en définitive que, pour un accroissement de température fixé « par conception », les lois thermohydrauliques appliquées au circuit primaire permettent d'établir une liaison entre la puissance spécifique dégagée dans le combustible et la configuration géométrique du coeur, ainsi qu'entre la puissance spécifique et la vitesse de circulation. C'est l'objet des figures 4.10a et 4.10b présentées dans [CR-95].

Ces relations sont intéressantes pour la suite de la conception du projet puisque, par exemple, elles mettent en évidence la nécessité d'utiliser dans le coeur différents types d'assemblages combustibles. En effet la densité de puissance dans le combustible varie en fonction de sa position radiale par rapport à l'axe de la cuve : elle est plus élevée au centre et décroît vers la périphérie. Il en résulte que les conditions de circulation du plomb dans le coeur ont également une dépendance radiale. Il conviendrait alors de modifier le pas du réseau d'aiguilles en le réduisant du centre vers la périphérie. Pour des raisons pratiques, le réacteur RUBBIA se limite en fait à deux configurations de réseau pour le combustible effectivement placé dans le coeur :

- dans la partie intérieure du coeur, les aiguilles sont séparées par des intervalles de 12,43 mm ;
- dans la partie extérieure du coeur, les aiguilles sont séparées par des intervalles de 11,38 mm.

Au plan de la sûreté on doit vérifier deux sortes de questions : 1/ les dispositions retenues sont-elles capables d'assurer réellement l'évacuation de la puissance thermique dégagée dans le coeur ? 2/ la convection naturelle est-elle toujours efficace en conditions incidentelles voire accidentelles ?

³³ Le concepteur de la machine souhaite que la variation de température dans le coeur ait une valeur déterminée dans les conditions normales de fonctionnement (ici +200°C entre l'entrée « froide » et la sortie « chaude »).

³⁴ La configuration géométrique du coeur est déjà contrainte par un certain nombre de choix : longueur des éléments combustibles, utilisation d'aiguilles assemblées par groupes hexagonaux, etc. Dans ce cadre, le seul degré de liberté laissé à ce qui est appelé *"configuration géométrique du coeur"* réside dans la valeur du diamètre des aiguilles et du pas de réseau séparant les aiguilles.

Pour la première de ces questions, on doit d'abord rappeler que l'équipe RUBBIA a procédé à des simulations informatiques portant sur les écoulements et la circulation du liquide caloporteur dans la colonne convective. Certains transparents présentant une transcription graphique des résultats de simulation ont d'ailleurs été présentés lors de l'audition du 21 novembre. La publication [CR-95] indique par ailleurs que *"les distributions réelles de température et de vitesse à la sortie du coeur ont été prises comme paramètres d'entrée dans la simulation du fluide montant. La vitesse et la température du liquide caloporteur deviennent peu à peu homogènes au fil de la montée."* Cette méthode appelle de ma part deux remarques :

1. Tout d'abord la simulation s'est intéressée à la circulation du fluide montant dans l'espace central de la cuve, supposée vide de toute structure. Or il me semble qu'il faut prendre en compte deux autres « lieux » importants :

- les échangeurs de chaleur situés en haut de cuve : d'une part leur conception doit conduire à une faible perte de pression hydraulique : est-ce réellement faisable ? d'autre part les variations de densité du fluide caloporteur ne doivent pas perturber les écoulements ; or justement la température est censée diminuer de 200°C environ lors du passage dans les échangeurs, ce qui conduit, compte tenu des caractéristiques thermodynamiques du plomb justement mises à profit dans la phase de chauffage, à une contraction et une redensification tout à fait significatives ;
- la présence, au-dessus du coeur, d'une structure d'entreposage des éléments combustibles en attente de déchargement ou en cours de manipulation ; cette structure est mentionnée dans les chapitres de [CR-95] relatifs à la gestion du combustible mais n'apparaît plus dans les passages relatifs à la convection naturelle ; or il est clair que le passage du fluide dans cette structure, dont on ne sait *a priori* si elle sera vide, en partie emplie ou totalement emplie d'éléments irradiés (ou, pourquoi pas, neufs), va lui faire subir des perturbations tant hydrauliques que thermiques ; rien n'est dit sur cet aspect des choses.

2. La thermohydraulique du plomb en régime transitoire doit être passablement plus compliquée qu'en régime permanent ; l'équipe RUBBIA n'a pas négligé ces situations et a mis au point une simulation du démarrage du réacteur ; le détail des hypothèses est présenté dans [CR-95] (pp. 118s.) et l'équipe RUBBIA arrive à la conclusion que *"il est possible de parvenir aux conditions d'exploitation normales en quelques minutes sans échauffer le plomb au-delà des températures nominales d'exploitation. Pour des temps de démarrage inférieurs à 2 minutes le plomb subit une surchauffe, par exemple de 20°C si le démarrage est fait en 1 minute ou de 100°C s'il est fait en 30 secondes. De même, après un arrêt immédiat [du réacteur] et sans tenir compte de la chaleur résiduelle, l'inertie du liquide caloporteur est telle qu'elle maintient la vitesse du plomb à 8% de sa valeur stationnaire après 5 minutes et environ 3% après 15 minutes."*

Ces résultats sont encourageants mais je ne sais pas s'ils tiennent compte des possibilités de perturbations amenées par d'éventuelles turbulences. J'ai en mémoire diverses remarques recueillies au cours de mes entretiens, tendant à montrer que dans

certaines conditions la circulation du plomb pourrait s'amorcer en régime très turbulent et que l'accès du plomb chaud aux échangeurs de chaleur ne serait pas garanti en toutes circonstances.

Je ne saurais évidemment prendre parti sur la pertinence ou l'inanité de l'hypothèse évoquée ici ; c'est en l'occurrence aux spécialistes de se prononcer. La question me paraît cependant suffisamment importante pour que des investigations complémentaires soient effectuées sur ce point. Il serait difficilement pensable de construire un réacteur nucléaire où l'on ne serait pas assuré en toutes circonstances que le liquide caloporteur parvient bien au système de récupération d'énergie ! En tout cas je vois mal une autorité de sûreté donner le feu vert à une telle machine...

Enfin je ne peux manquer de mentionner une remarque faite lors de l'audition du 21 novembre par M. GROS (IPSN). Celui-ci rappelait ainsi que le plomb ne peut assurer sa fonction de refroidissement que s'il reste sous forme liquide ! Il importe alors de ne pas créer ou favoriser des situations dans lesquelles des « caillots » de plomb solidifié pourraient obstruer tel ou tel passage, ou tout au moins perturber les écoulements et réduire la bonne dissipation de l'énergie de fission. *"Les pompes primaires et secondaires sont souvent utiles pour contribuer au maintien à l'état liquide du fluide de refroidissement"* indiquait encore M. GROS. Un réacteur RUBBIA est privé de cette caractéristique favorable.

Pour ce qui est du régime thermohydraulique en conditions incidentelles ou accidentelles, on ne saurait faire grief au projet présenté par C. RUBBIA de n'y consacrer que des développements limités : ce projet est encore à un stade précoce d'avancement. Il est vrai aussi que, en la matière, l'accent est mis sur un système passif d'évacuation de la chaleur dont la conception est tout à fait intéressante.

1.2.3 L'évacuation de la chaleur résiduelle en situation anormale se fait par convection naturelle d'air

L'industrie nucléaire a développé depuis longtemps un certain nombre de dispositifs d'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur par convection naturelle passive d'air, au cas très peu probable où tous les systèmes actifs de refroidissement seraient défaillants. Ce même concept, dénommé RVACS (*Reactor Vessel Air Cooling System*), a été appliqué au projet de réacteur RUBBIA et sa validité vérifiée grâce à un modèle thermohydraulique utilisant le code de calcul STAR-CD.

Supposons une situation où le système normal de refroidissement est défaillant. La chaleur résiduelle due à la radioactivité des produits de fission accroît la température du plomb présent dans la cuve du réacteur ; le plomb se dilate et sa surface libre en haut de cuve s'élève. Au bout d'un moment le niveau du plomb est suffisamment élevé pour déborder et couler dans un espace étroit situé entre la cuve principale et la cuve de sécurité.

Cet espace intercuve est normalement empli d'hélium, dont la faible conductivité thermique fait que l'espace intercuve joue le rôle d'isolant vis-à-vis de l'extérieur. Une fois empli de plomb liquide, il devient au contraire un bon conducteur thermique.

Or justement la cuve de sécurité est en contact avec l'air ambiant : un conduit « froid » amène l'air ambiant au bas de la cuve de sécurité ; cet air s'échauffe au contact de la cuve chaude et amorce dans le conduit « chaud » un mouvement de convection naturelle. L'ensemble conduit « froid »-conduit « chaud » constitue le RVACS. Il s'établit ainsi une circulation d'air qui refroidit la cuve de sécurité, de façon passive et sans intervention d'un dispositif mécanique ou autre.

Le réacteur RUBBIA prévoit que les conduits froid et chaud consistent en deux zones annulaires placées autour de la cuve de sécurité, d'épaisseur respective 18 cm et 57 cm. Pour une température de cuve de 500°C, l'air circule à une vitesse d'environ 10 m.s⁻¹ dans le conduit chaud, ce qui correspond à un débit d'environ 53 m³.s⁻¹. La température moyenne de l'air en sortie du conduit chaud est de 177°C et la puissance évacuée par ce biais est de l'ordre de 6,5 MW, strictement proportionnelle à la température de la cuve de sécurité.

Il convient de noter enfin deux points non mineurs à propos du RVACS :

- le bon fonctionnement du système suppose la continuité de la convection naturelle dans la cuve principale du réacteur ;
- le système ne se déclenche que lorsque le plomb a atteint une température seuil, nécessaire pour donner une dilatation suffisante et faire monter de façon significative le niveau de la surface libre du plomb ; cette température est déterminée par le concepteur, en fonction de la marge de fluctuation qu'il souhaite laisser à la température de fonctionnement et de la marge séparant du déclenchement du système ⁽³⁵⁾ ; or à 800°C la pression de vapeur est passée de 5.10⁻⁴ torr à près de 1000.10⁻⁴ torr ; le système de protection du vide accélérateur est-il encore efficace à ce niveau ? dans quelles conditions ?

Quelque soit que l'on fasse à ces deux remarques, on doit reconnaître la pertinence et la robustesse du concept de RVACS tel qu'il est avancé par l'équipe RUBBIA. Cette robustesse est d'autant plus appréciable que le réacteur RUBBIA rejoint ainsi ses homologues à neutrons rapides pour une disposition de sûreté essentielle.

1.3 Le confinement des matières radioactives s'écarte plus des « canons » attendus en matière de sûreté

La troisième fonction de sûreté, le confinement des matières radioactives, est le point sur lequel le projet RUBBIA prend le plus de liberté avec les « canons » de l'ingénierie nucléaire traditionnelle. Non pas tant parce que les conditions de préservation de l'intégrité des structures ne seraient pas garanties, mais plutôt parce que la mise en évidence des barrières interposées entre les matières radioactives et l'environnement manque assurément de lisibilité.

³⁵ Cette dernière marge serait destinée à éviter les déclenchements intempestifs du RVACS ; il serait en effet nécessaire après la mise en oeuvre du RVACS de récupérer le plomb passé dans l'espace intercuve ; cela ne devrait pas être une mince affaire...

1.3.1 Certains modes de dégradation des barrières nécessitent des études plus approfondies

On distingue classiquement trois barrières : 1/ la gaine de l'assemblage combustible ; 2/ le circuit primaire et toutes les surfaces associées ⁽³⁶⁾ ; 3/ l'enceinte de confinement et les vannes ou sas isolant le circuit secondaire et les traversées d'enceinte. Les deux premières barrières sont *a priori* les plus sensibles aux principaux choix techniques retenus pour la conception d'un réacteur. C'est en effet sur ces barrières que portent les contraintes principales dues à l'exploitation du réacteur : fatigue thermique, effets de l'irradiation neutronique, contraintes physico-chimiques résultant d'éventuelles interactions avec les fluides circulant dans le circuit primaire, contraintes mécaniques, etc.

1. Il ne me paraît pas utile dans cette présentation très sommaire d'évoquer longuement les éventuels problèmes liés à la **fatigue thermique**, qui ne me semblent pas très différents de ce qui peut exister sur des réacteurs classiques. Je noterai simplement que la température de fonctionnement plus élevée dans le réacteur RUBBIA (400-450°C en partie froide et 600-650°C en partie chaude) que dans les REP peut contribuer à renforcer certains effets observables ⁽³⁷⁾. L'effet de fatigue thermique est en lui-même difficile à cerner *a priori* :

- facteur favorable : l'exploitant sera obligé de maintenir, même à l'arrêt, le plomb au-dessus de sa température de fusion (328°C), soit un différentiel de seulement 100-130°C entre la température d'arrêt et la température basse d'utilisation ; ce différentiel est de près de 300°C dans les REP ;
- facteur défavorable : en régime stationnaire la différence de température entre fluide froid et fluide chaud est élevée (200°C) ce qui pourrait créer des difficultés au niveau des éléments combustibles et des structures environnant le coeur (internes inférieurs de la cuve) ⁽³⁸⁾.

2. La corrosion due au plomb reste aujourd'hui un point d'interrogation important car on ne possède pas beaucoup de connaissances expérimentales. En fait seuls les Russes ont depuis plusieurs années une expérience quasi-industrielle des réacteurs refroidis au plomb. Cependant, compte tenu de la vocation militaire des ces réacteurs (propulsion sous-marine), les possibilités d'information et d'échanges ont été des plus réduites jusqu'à il y a peu.

³⁶ Dans le cas d'un réacteur à eau sous pression on peut ainsi considérer que constituent la seconde barrière : la cuve et son couvercle (avec les carters de grappes de commande), les tuyauteries primaires, les pompes primaires (y compris les joints séparant la partie pompe de la partie moteur), les tubes de GV, le pressuriseur, etc.

³⁷ Cette remarque joue dans les deux sens : on sait par exemple que la fragilisation de l'acier des cuves sous irradiation neutronique peut parfois être « récupérée » par un recuit de cuve. Lors du recuit, l'apport extérieur de chaleur conduit à la disparition (au moins partielle) des défauts apparus dans la structure cristalline : l'acier retrouve alors ses qualités initiales de ductilité et le risque de rupture de cuve par choc thermique (injection d'eau froide en cas d'accident) se trouve réduit. Un recuit de cuve se fait typiquement vers 480°C, c'est à dire justement une température similaire à celle retenue pour le réacteur RUBBIA. Reste à savoir si le fait de faire fonctionner une cuve en permanence dans les conditions d'un recuit ne pose pas en soi des problèmes autres.

³⁸ Je pense ici typiquement à des effets comparables aux fissures découvertes dans les réacteurs REP sur des piquages, induites par des fatigues thermiques dues à des circulations de liquides chauds et froids.

Quoi qu'il en soit, certaines indications existent déjà, qui ont permis à l'équipe RUBBIA d'afficher un optimisme raisonné. Au demeurant l'existence bien réelle des réacteurs russes montre que les difficultés éventuelles ne sont certainement pas insurmontables ⁽³⁹⁾.

De nombreux métaux couramment utilisés dans l'industrie nucléaire ont une solubilité relativement significative dans le plomb liquide (supérieure à 100 ppm pour le nickel et le manganèse, de 1 à 10 ppm pour le fer, le chrome, le molybdène), qui croît d'ailleurs avec la température. Il s'ensuit qu'une immersion prolongée de ces métaux ou de certains de leurs alliages montre une *"détérioration significative. Ceci est un problème important, qui doit être surmonté"* [CR-95, p. 79] :

- un acier de type HT-9 immergé dans le plomb liquide pendant 50 000 heures (soit un peu plus de 5 ans et demi) à environ 500°C montre une perte d'épaisseur par corrosion de 80 µm ;
- en général les aciers ferritiques sont modérément corrodés par le plomb et en particulier ils ne montrent pas de dégradation intergranulaire ;
- en revanche les effets de corrosion sont plus forts pour les aciers austénitiques (typiquement 120 µm après 3000 heures à 700°C pour l'acier 800 H, où des transferts de masse des régions froides vers les régions chaudes ont été observés)...

Lors de l'audition du 21 novembre, C. RUBBIA a établi un lien quasi-univoque entre la présence d'oxygène dans le plomb et son caractère corrosif : *"Nous savons que la corrosion dans le plomb dépend de la quantité d'oxygène contenue dans le plomb. Les études de M. ORLOV indiquent que si l'on contrôle très bien la quantité d'oxygène à l'intérieur du plomb la corrosion n'existe pas. On peut travailler pendant des milliers d'heures avec du plomb liquide et des surfaces d'acier inoxydable sans la présence de la moindre corrosion. Dès que la concentration d'oxygène est modifiée la corrosion s'établit et vous pouvez perdre des surfaces considérables de matériel en un temps très court."*

C'est peut-être faire porter beaucoup de responsabilité à l'oxygène. Les réactions d'oxydo-réduction, à la base de la corrosion, ne nécessitent pas forcément la présence de l'élément oxygène. Toujours est-il qu'elles pourront être favorisées ou limitées par le degré de pureté du plomb :

- des éléments présents sous forme de trace peuvent augmenter la corrosion des métaux par le plomb ; il est indiqué par exemple dans [CR-95] qu'une fragilisation peut survenir pour certains alliages (45 CD 4 et 35 CD 7) aux alentours du point de fusion du plomb ; cette fragilisation est accrue lorsque le plomb recèle des traces d'étain, de zinc ou d'antimoine ; C. RUBBIA en déduit que *"des spécifications sur la concentration maximale de certains éléments dans le plomb doivent être établies"* ;

³⁹ Même si des solutions considérées comme valables dans le cas d'un moyen de propulsion navale militaire peuvent éventuellement ne plus l'être pour une installation civile à vocation industrielle.

- au contraire il semble que l'ajout de certains éléments au plomb serait susceptible de réduire les phénomènes de corrosion ; l'équipe RUBBIA indique par exemple que suite à l'adjonction de 225 ppm de manganèse aucune corrosion n'est observée au bout de 28 000 heures de test à 550°C pour l'acier 15 CD 9-10 ; la corrosion serait de 300 μm dans les mêmes conditions s'il n'y avait pas d'additif.

Il est donc nécessaire de prévoir des dispositifs de contrôle chimique du plomb (plutôt que simplement de « purification » comme cela a été évoqué lors de l'audition). Ces dispositifs devront prendre en compte également la modification de la composition du plomb due à la spallation. En effet l'impact des protons sur les atomes de plomb composant la cible entraîne, indépendamment de la production de neutrons de spallation dont j'ai déjà parlé, la formation de nouvelles espèces chimiques issues du noyau « plomb » :

- lorsque l'énergie des protons incidents est inférieure à 40 MeV, les produits formés sont de masse atomique proche du plomb ;
- lorsque l'énergie des protons incidents est de l'ordre de 400 MeV les atomes de plomb se fractionnent en deux fragments de masse similaire (phénomène similaire à la fission) ;
- lorsque l'énergie des protons incidents est supérieure à 400 MeV, les atomes de plomb donnent naissance à des éléments couvrant pratiquement l'intégralité de la classification périodique, répartis de façon à peu près égale.

Dans le chapitre 5 de [CR-95] l'équipe RUBBIA dresse sur 2 pages un tableau des éléments issus de la spallation, établie par une simulation informatique. On y distingue les éléments gazeux, qui vont s'accumuler sous le ciel de cuve, les éléments solides qui se dissoudront dans le plomb, les éléments solides qui semblent rester différenciés, etc. Ce tableau appelle quelques remarques :

- l'élément prépondérant est le plomb sous forme d'isotopes Pb_{202} et Pb_{205} puis on trouve du thallium (Tl_{204} et Tl_{202}), du mercure (Hg_{194}), du platine, de l'or ;
- certains éléments ne sont présents qu'à hauteur de quelques grammes : cobalt, nickel, zinc, sélénium, krypton (gazeux), strontium, zirconium, niobium, molybdène, technétium, palladium, cadmium, etc. ; les autres éléments ne sont présents qu'à l'état de traces (quelques dixièmes ou quelques centièmes de grammes) ;
- les seuls éléments tracés dans le tableau sont les espèces radioactives dont la période de demi-vie est supérieure à 10 jours ; or l'évaluation de l'impact éventuel de la spallation sur le potentiel corrosif du plomb composant le liquide primaire nécessiterait à mon sens une estimation des quantités de toutes les espèces chimiques produites par la spallation.

L'importance des effets de corrosion ne doit pas être négligée. On sait les difficultés que peuvent entraîner une maîtrise insuffisante de la chimie du circuit primaire et du circuit secondaire dans les REP, alors qu'il ne s'agit « que » d'eau presque pure... C. RUBBIA reconnaît d'ailleurs que "un travail expérimental important doit être fait (expériences non isothermes, effets de charge [thermique] cyclique, etc." J'ajouterai également qu'un travail théorique significatif devrait être conduit sur les propriétés physico-chimiques du plomb liquide en relation avec la corrosion. En effet un dossier de sûreté ne pourra pas s'appuyer uniquement sur des expériences, certes indispensables mais de portée nécessairement limitée. Compte tenu de la sensibilité du sujet dans le cas du plomb et des expériences « désagréables » vécues par ailleurs sur le parc nucléaire classique, il sera nécessaire de présenter également une modélisation des phénomènes de corrosion. Cette modélisation ne pourra obtenir ses « brevets de fiabilité » que par la conjonction d'études expérimentales et de constructions théoriques.

Je remarque au demeurant qu'il n'existe que fort peu de références bibliographiques récentes données à l'appui des arguments avancés dans un sens ou dans l'autre par l'équipe RUBBIA dans [CR-95]. C'est bien la preuve que les connaissances nécessaires à la mise en oeuvre d'un système utilisant le plomb de façon fiable font encore largement défaut. D. FERON, chef du laboratoire de physico-chimie et de corrosion (CEA, Service de la Corrosion, d'Électrochimie et de Chimie des Fluides), me faisait remarquer lors d'un entretien téléphonique que la majorité des travaux effectués jusqu'ici en Occident se sont intéressés au plomb pur ⁽⁴⁰⁾ alors que l'étude des conditions réelles de corrosion dans un réacteur RUBBIA suppose justement l'utilisation d'un plomb « pollué ».

3. Les effets de l'irradiation neutronique me semblent devoir être plus rapidement cernés. En effet le flux neutronique présent dans le réacteur tel qu'actuellement conçu est tout à fait similaire à ce qui est obtenu par ailleurs dans les réacteurs REP ($\phi \approx 10^{13}$ n.cm⁻².s⁻¹) ou les réacteurs rapides ($\phi \approx 10^{15}$ n.cm⁻².s⁻¹). Par ailleurs, une fois passée la phase de spallation où les neutrons ont une énergie de quelques MeV, le ralentissement par réaction (n, n') fait que le spectre neutronique devient similaire à celui d'un réacteur à neutrons rapides « normal » dans la zone où est présent le combustible.

L'équipe RUBBIA estime donc que l'expérience considérable acquise dans le domaine des neutrons rapides peut être mise à profit rapidement et avec une bonne confiance. Il est ainsi rappelé que les modifications structurales des matériaux sont indiscernables pour des fluences neutroniques ⁽⁴¹⁾ inférieures à 10²² n.cm⁻². Les dommages structurels peuvent être regroupés en deux catégories :

- la création de défauts dans la structure cristalline : des atomes quittent leur position dans le réseau cristallin sous le choc des neutrons ; l'équipe RUBBIA a utilisé un code de calcul mis au point au *Los Alamos National Laboratory* à la fin des années 70 pour estimer ces dommages ;

⁴⁰ Ou à des mélanges plomb-lithium, mais il s'agit là de travaux conduits dans le cadre des recherches sur la fusion.

⁴¹ Assimilable à la quantité de neutrons reçue par unité de surface, sur toute la durée de l'irradiation.

- l'apparition de produits gazeux : dans le domaine des neutrons rapides, les réactions (n, α) et (n, p) ont des sections efficaces significatives ; elles conduisent à la formation d'hélium (pour la première) et d'hydrogène (pour la seconde), qui peuvent avoir un effet important sur les propriétés mécaniques du matériau irradié.

Pour l'irradiation des assemblages combustibles, l'équipe RUBBIA remarque d'abord que, grâce à la différence entre les sections efficaces de fission de l' U_{233} et du Pu_{239} , le flux neutronique nécessaire pour obtenir une puissance spécifique donnée est inférieur de près de moitié dans le cas du réacteur à thorium. Ainsi un taux de combustion de 150 GW.j.t^{-1} pour l'Amplificateur d'Énergie produit une fluence neutronique équivalente à celle obtenue pour un taux d'irradiation de 96 GW.j.t^{-1} dans un réacteur rapide traditionnel.

Considérant alors que des objectifs classiquement retenus en matière de taux de combustion sur les combustibles rapides traditionnels sont compris dans une fourchette $100\text{-}120 \text{ GW.j.t}^{-1}$, le réacteur RUBBIA vise ainsi 160 à 180 GW.j.t^{-1} . Un taux de 100 GW.j.t^{-1} conduirait à une fluence neutronique dans la gaine de l'assemblage environ égale à $3,3 \cdot 10^{23} \text{ n.cm}^{-2}$; les éléments les plus exposés recevraient près de deux fois cette valeur moyenne.

L'effet de fluences similaires a été étudié sur l'acier HT-9 (alliage Hastelloy), qui recueille par ailleurs les suffrages de l'équipe RUBBIA pour ses qualités prévues vis-à-vis de la corrosion du plomb. Les résultats des évaluations conduites pour le projet RUBBIA suggèrent qu'une durée de vie utile pour un gainage en HT-9 serait de 5 ans environ. C'est une durée largement suffisante pour épuiser les qualités du combustible contenu dans l'assemblage.

Dernier élément d'information : dans la note remise à l'occasion de l'audition du 21 novembre, l'IPSN estime qu'une fluence de $10^{23} \text{ neutrons.cm}^{-2}$ correspond à des flux neutroniques qualifiés d' "élevés".

4. Les contraintes mécaniques ne doivent pas non plus être négligées. Le choix de la convection naturelle — qui implique une grande hauteur de la cuve principale — allié à la forte densité du plomb, conduit à ce qu'une pression statique significative s'exerce en fond de cuve (près de 30 atmosphères). Ceci n'est pas rédhibitoire en soi mais conduit le réacteur RUBBIA à se priver de l'un des avantages reconnus aux réacteurs rapides : le fonctionnement à la pression atmosphérique. Rappelons qu'il en résulte normalement de moins grands impératifs sur la conception des structures du circuit primaire (épaisseur des aciers...).

Une autre contrainte mécanique provient de l'accumulation des produits de fission gazeux dans les éléments combustibles. La pression augmente dans l'aiguille au fil de l'irradiation et le gainage doit conserver son étanchéité. Comme pour tous les combustibles, y compris ceux des réacteurs rapides, ceci est obtenu en réservant un espace vide dans l'aiguille. Afin de limiter la perte de pression hydraulique dans le coeur, le diamètre de cette partie vide prolongeant l'aiguille en haut et en bas est inférieur à celui de sa partie contenant les pastilles combustibles.

Par ailleurs il a été évoqué lors de l'audition du 21 novembre la possibilité d'observer des phénomènes d'érosion des structures, dus aux propriétés physiques du plomb liquide, en particulier sa forte densité.

5. Enfin l'ensemble de ces phénomènes appliqués à la pastille élémentaire de combustible d'oxyde de thorium ThO_2 n'est pas encore très précisément connu. Or comme l'indique [CR-95] *"le matériau combustible sous forme d'oxydes subira des dommages et des changements structurels considérables au vu de la fraction très importante qui sera brûlée et transformée en produits de fission. Le comportement de ThO_2 n'est pas aussi bien connu que celui de UO_2 qui est actuellement utilisé de façon universelle. Cependant la conductivité thermique, les propriétés mécaniques attendues et le point de fusion de ThO_2 sont plus favorables que dans le cas de UO_2 et nous n'attendons pas de problèmes majeurs"* (p. 84).

Il en résulte que la puissance spécifique de fonctionnement est fixée par conception à 55 W.g^{-1} , choix estimé conservatif. La température du combustible moyennée sur tout le coeur est de 908°C , tandis que la température moyenne des aiguilles les plus exposées est de 1210°C et la température maximale au sein de ces aiguilles les plus exposées est de 2350°C .

1.3.2 La fenêtre à protons est un élément critique du système

L'ensemble de ces contraintes se retrouve au niveau d'un composant particulièrement essentiel au bon fonctionnement du système : la fenêtre à protons qui ferme l'extrémité du tube d'injection du faisceau. La fenêtre a la forme d'une demi-sphère de 20 cm de diamètre. Elle est faite de tungstène, matériau retenu par l'équipe RUBBIA pour ses qualités supposées vis-à-vis des sollicitations diverses découlant de sa fonction : température de fusion élevée (3410°C), excellente conductivité thermique, haute résistance mécanique, activation raisonnable sous rayonnement ; de plus les effets de corrosion dans le plomb fondu semblent être *"négligeables"* [CR-95]. Les contraintes mécaniques sont de deux ordres :

- une contrainte statique due au différentiel de pression entre le plomb liquide (30 atmosphères) et le vide du système accélérateur ;
- une contrainte d'érosion due au mouvement du plomb le long de la fenêtre ; d'une part la fenêtre est située dans le courant ascendant général du plomb à travers la cuve, d'autre part elle est située à la limite de la zone de spallation, où toute l'énergie du faisceau se dépose dans le plomb ; ce dépôt d'énergie (environ 10 MW, puissance du faisceau) provoque un échauffement local important qui favorise encore le mouvement de convection dans la zone de spallation et les zones proches ⁽⁴²⁾.

⁴² Cependant ce dépôt ne me paraît pas susceptible en lui-même de perturber fortement le mouvement de convection naturelle dans le coeur ; en effet la puissance déposée est de 10 MW alors que la puissance thermique totale générée par la fission nucléaire dans les assemblages combustibles est de 1500 MW (dans le réacteur en format « commercial ») soit une puissance par assemblage au moins aussi élevée si ce n'est plus. Le dépôt d'énergie dû au faisceau ne semble pas ainsi devoir remettre en cause les écoulements du coeur.

Les deux principales contraintes auxquelles est soumise la fenêtre sont en fait les contraintes thermiques et les contraintes internes dues au bombardement de protons :

- le faisceau de protons est focalisé en un point situé environ 30 m au-dessus de la fenêtre, afin d'élargir son « diamètre » à environ 15 cm lorsqu'il frappe la fenêtre ⁽⁴³⁾ ; dans ces conditions, le courant de protons sur la fenêtre a une intensité surfacique maximale de $113,2 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ (pour une intensité totale de 10 mA) et des simulations informatiques montrent que l'énergie déposée par le faisceau dans la fenêtre est d'environ 100 kW ; ceci correspond à une densité maximale d'énergie (au centre de la fenêtre) de $113 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, comparable à la densité de puissance au niveau des assemblages ; toujours estimée par des calculs, l'élévation de température est de 137°C pour la fenêtre et 107°C pour le plomb environnant ;
- l'impact du faisceau de protons sur la fenêtre se traduit par l'apparition d'hélium et d'hydrogène ⁽⁴⁴⁾ qui fragilise la structure mécanique du métal et correspond par ailleurs à une disparition de matériau dans ce même métal.

L'équipe RUBBIA a conclu que la fenêtre devrait être changée tous les ans environ. Je ne sais ce qu'il faut en penser en termes de disponibilité du réacteur car on a encore peu d'indications sur la façon dont pourrait être réalisé ce remplacement. J'observe cependant que l'estimation donnée par C. RUBBIA sur la durée de vie de la fenêtre a été corroborée dans ses grandes lignes par une contre-étude menée par deux ingénieurs de l'École navale, dans le cadre d'un projet de fin d'études conduit au Groupe de calcul parallèle du Laboratoire de Physique corpusculaire (CNRS-Collège de France).

Le projet consistait, dans le cadre d'un contrat entre EDF et le Groupe de calcul parallèle conduit sous l'égide de J. MAILLARD, à simuler le projet de réacteur hybride proposé par C. RUBBIA. Les programmes informatiques utilisés pour ce projet étaient différents de ceux utilisés par C. RUBBIA mais relevant de la même technique (méthodes de Monte Carlo). Les résultats des deux simulations concurrentes sont plutôt cohérents puisque celle du GPC montre un dépôt d'énergie d'environ 54 kW dans la fenêtre, soit à peine deux fois moins que la valeur avancée dans [CR-95]. Par ailleurs les calculs du GPC mettent en évidence une perte de matériau de 8% par an au centre de la fenêtre (pour 1% par an en moyenne sur la surface complète, compte tenu du profil d'intensité du faisceau). Le rapport final estime cependant que la période de remplacement de la fenêtre devrait être inférieure à 1 an.

Mme WOLFF-BACHA, travaillant dans le cadre d'une thèse consacrée aux réacteurs hybrides destinés à l'incinération des déchets à vie longue (Groupe de Calcul parallèle, Laboratoire de Physique corpusculaire), a fait part au cours de l'audition du 21 novembre de certaines données expérimentales fournies lors du congrès sur les systèmes hybrides de transmutation organisé à Las Vegas en septembre 1994. Ces données concernaient les dommages créés sur une cible de tungstène par un faisceau de

⁴³ Le faisceau a en fait un profil complexe, dont une dimension caractéristique assimilable à un diamètre est 15 cm.

⁴⁴ Ces gaz sont issus respectivement des particules α et des protons arrachés aux atomes de tungstène sous le choc des protons de haute énergie

protons de 1 GeV, c'est-à-dire une irradiation dans les conditions similaires à celles du réacteur RUBBIA. Chaque proton de 1 GeV produirait ainsi 2,7 atomes d'hydrogène, 0,4 atome de tritium, 0,5 atome d'hélium, entre autres.

C. RUBBIA a fait remarquer que l'on ne pouvait pas faire une règle de trois directe entre ces chiffres et l'intensité du courant passant par le faisceau de protons. En effet celui-ci n'est absorbé qu'à hauteur de 1% dans la fenêtre (100 kW pour 10 MW dans le faisceau), le reste de l'absorption donnant lieu au phénomène de spallation dans le plomb liquide. En l'absence de toute précision sur les conditions exactes des expériences évoquées par Mme WOLFF-BACHA, je ne peux que conclure que le débat reste ouvert.

Toujours est-il que l'ensemble des acteurs se retrouve autour du fait que la fenêtre nécessite à tout le moins une attention particulière et assurément des investigations complémentaires. C. RUBBIA lui-même, dans [CR-95], indique que *"il est cependant évident qu'un certain travail expérimental est nécessaire pour s'assurer des conditions d'exploitation sûres de ce composant relativement nouveau qu'est la fenêtre."*

1.3.3 La matérialisation des barrières reste parfois insaisissable

Cette appréciation un peu dure découle de l'examen de deux dispositifs essentiels dans la conception du réacteur RUBBIA.

Tout d'abord la deuxième barrière est classiquement représentée par les surfaces limitant le circuit primaire. Ceci doit être entendu dans un sens assez large pour le commun des mortels : pour le REP par exemple, au-delà des éléments très « visibles » comme la cuve, le couvercle, les tuyauteries primaires, les tubes de générateurs de vapeur, etc. il faut aussi prendre en compte les multiples piquages d'instrumentation, de prélèvement ou injection de liquides, les bâches correspondantes, les échangeurs des circuits de refroidissement utilisés en fonctionnement normal (RRI : refroidissement intermédiaire, RRA : refroidissement à l'arrêt) ou accidentel (RIS : injection de sécurité, etc.).

Dans le réacteur RUBBIA il n'existe pas de barrière entre le niveau de la surface libre du plomb, en ciel de cuve, et le vide de l'accélérateur. C'est en effet la conséquence du choix qui a été fait d'un système d'« extinction » automatique de la source de spallation. Faut-il considérer que le système de filtration des vapeurs de plomb et le système de pompage dans la partie ultime du tube à protons constituent une « barrière virtuelle » ou immatérielle ? Faut-il au contraire considérer que l'accélérateur dans son entier constitue lui-même une partie de la deuxième barrière ? Faut-il songer à installer sur le faisceau une seconde fenêtre à protons, destinée à concrétiser l'obstacle interposé entre d'éventuelles matières radioactives et l'environnement ? Je ne crois pas à une réelle faisabilité de cette dernière solution : une fenêtre supplémentaire serait soumise aux mêmes sollicitations que la fenêtre de spallation (donc d'ailleurs à la même obligation d'un remplacement annuel. Sa présence se traduirait aussi en aval par une détérioration sensible des qualités du faisceau.

Deuxième élément d'interrogation : il n'existe pas à proprement parler de troisième barrière (enceinte de confinement). En effet le système d'évacuation de la chaleur

résiduelle RVACS est (par définition et du fait du choix de la passivité totale) en prise directe sur l'air extérieur. La cuve de sécurité ne constitue pas la troisième barrière puisqu'il existe une communication entre l'espace intercuve et le volume de la cuve principale. Cet espace a par nature vocation à être rempli par le plomb liquide en cas de défaillance sérieuse dans le refroidissement du réacteur. La cuve de sécurité constitue donc l'une des limites du circuit primaire. La situation est tout à fait différente de celle de SUPERPHENIX par exemple, où la deuxième barrière est constituée par la cuve principale et la dalle tandis que la troisième barrière est formée de la cuve de sécurité et du dôme.

Les promoteurs du projet répondront peut-être que le réacteur ne pouvant avoir d'accident grave, la question des barrières ne se pose pas dans les mêmes termes que dans les réacteurs classiques. Je ne suis pas sûr que l'argument convainque une autorité de sûreté. D'ailleurs les travaux menés par l'équipe RUBBIA montrent que, par exemple, les produits radioactifs de spallation sont certes en quantités peu importantes, mais que certains sont gazeux et auraient ainsi une certaine facilité à passer du plomb vers le vide accélérateur via les surfaces libres (certes limitées) de l'*Emergency Beam Dump Volume*. Par ailleurs, même si l'on considère que les accidents de criticité sont « éliminés », les autres types d'accident pouvant conduire à la fusion d'un assemblage ou, plus largement, à une détérioration du coeur doivent être pris en compte.

Je ne veux pas faire de catastrophisme ; je souhaite simplement remarquer un décalage certain entre les « canons » de la sûreté nucléaire et quelques aspects du projet présenté par C. RUBBIA et son équipe. La poursuite des études et recherches montrera si ces défauts sont rédhibitoires, s'ils peuvent être compensés ou si leur présence peut être négligée. Je n'ai pas d'*a priori* sur le sujet. D'autant que la sûreté d'un système nucléaire repose aussi sur des éléments autres que ceux présentés jusqu'ici.

1.4 La sûreté d'un réacteur repose également sur d'autres éléments

1.4.1 Un réacteur doit être protégé contre les agressions externes

Je n'aurai pas l'ambition ici de faire le tour des éléments qui conditionnent la sûreté des réacteurs en matière d'agressions externes. Deux points importants doivent être considérés : la capacité de maintenir le réacteur dans un état sûr en cas de séisme et en cas d'inondation.

Le thème de l'inondation n'est pas traité dans les publications de C. RUBBIA et son équipe. Cependant la hauteur des équipements composant le circuit primaire (et au premier chef la cuve principale) donc la hauteur de l'ensemble du bâtiment réacteur également devraient être relativement plus importantes dans le réacteur RUBBIA que dans le REP. Cela nécessite-t-il d'envisager des dispositions un peu spécifiques pour garantir la sûreté du réacteur en cas d'inondation ? Je ne peux répondre aujourd'hui, mais de toute façon cela ne me semble pas être un obstacle en lui-même rédhibitoire à une éventuelle poursuite du projet.

La résistance aux séismes est une question plus délicate, s'agissant d'une structure de forme très longiligne et de masse élevée (cuve de 30 m de hauteur emplie de plomb). C. RUBBIA et son équipe n'ont pas éludé la question.

Ils rappellent qu'il serait théoriquement possible de concevoir l'Amplificateur d'Énergie en respectant les méthodes classiques visant à parer au SSE (*Safe Shutdown Earthquake*), séisme de référence qui enveloppe les comportements de près de 90% des sites nucléaires aux États-Unis. Cependant *"les concepts [de réacteurs à] métal liquide qui s'appuient sur des cuves à parois fines, conçues pour supporter de grands transitoires de température sous de faibles pressions en exploitation, sont plus sensibles aux charges sismiques et l'Amplificateur d'Énergie serait ainsi particulièrement pénalisé par cette approche. Une conception appropriée pour un Amplificateur d'Énergie modulaire exige d'être capable de supporter une [grande] variété de conditions sismiques prévisibles dans une large gamme de sites, depuis les sites à sols épais, où la vitesse de l'onde de cisaillement est minimale, jusqu'aux sites rocheux."*

Prenant appui sur l'expérience japonaise, la réponse mise en avant consiste à isoler le réacteur des mouvements éventuels du sol grâce à une batterie de supports en élastomère capables de supporter des masses très importantes, d'absorber les vibrations du sol en se déformant sans toutefois devenir instables, de dissiper une partie de l'énergie susceptible d'être transférée aux bâtiments par le séisme. Les avantages de cette solution sont de deux sortes :

- la conception des circuits et systèmes liés au réacteur devient plus simple et moins coûteuse puisque les charges sismiques qu'ils devront supporter par conception seront moins élevées du fait de l'isolement ;
- le comportement mécanique de l'ensemble du réacteur en cas de séisme est plus facilement prédictible, améliorant ainsi les marges de sûreté.

L'équipe RUBBIA rappelle que 4 réacteurs français (à Cruas) et les deux réacteurs sud-africains ont reçu un isolement sismique et que le développement de l'isolation sismique se répand largement dans le monde. Elle estime ainsi que la mise au point d'une solution d'isolation à caractère industriel n'est pas hors de portée. Au demeurant le projet américain ALMR (*Advanced Liquid Metal Reactor*) prévoit lui aussi une plateforme isolée au plan sismique, qui supporterait le module réacteur, le confinement, le système auxiliaire de refroidissement et les divers systèmes de sûreté. La masse totale isolée serait d'environ 25 000 tonnes. Le projet EFR (*European Fast Reactor*) fait également appel à une isolation sismique.

L'ensemble des risques présentés jusqu'ici montre que des réponses ont été apportées par l'équipe RUBBIA au niveau de la conception des systèmes. Il apparaît cependant que ces réponses sont sur certains points insuffisantes pour garantir à elles seules que la sûreté du réacteur est assurée. Il faut donc les compléter par des dispositions visant à surveiller le comportement du réacteur ainsi que de l'accélérateur et de leur couplage) et à mettre en oeuvre des actions tendant à corriger les éventuels écarts que la surveillance aurait mis en évidence.

On se trouve ainsi replongé au coeur de la problématique de la défense en profondeur.

1.4.2 Les dispositions relatives à la défense en profondeur ne doivent pas être négligées

Au titre de la surveillance, on peut relever que les domaines dans lesquels celle-ci doit s'exercer sont assez nombreux : neutronique du coeur (en particulier cartes de flux et cartes de réactivité), aspects hydrauliques, aspects thermiques, état des structures... J'imagine que l'on pourra sans peine satisfaire à toutes les exigences en matière de surveillance des paramètres thermiques : implanter des thermocouples aux endroits « stratégiques » ne présente pas de difficulté conceptuelle majeure. Les choses me paraissent peut-être plus difficiles dans deux autres domaines :

- la mesure des paramètres hydrauliques ; celle-ci est essentielle compte tenu du choix fait en faveur de la convection naturelle ; un débit trop faible, des conditions hydrauliques mauvaises, peuvent contrecarrer ou empêcher la fonction de refroidissement du combustible ; quel genre de débitmètre implanter ? où ? combien dans le coeur, dans les échangeurs intermédiaires, dans la cuve, dans la zone de la cible ou ailleurs ?
- la détermination de certaines caractéristiques neutroniques du réacteur ; dans [CR-95] l'équipe RUBBIA présente une méthode destinée à déterminer une mesure de la réactivité du coeur : *"la détermination continue et en fonctionnement du coefficient de multiplication k est essentielle pour surveiller le bon fonctionnement de l'Amplificateur d'Énergie ; la méthode que nous proposons est fondée sur la durée de vie des neutrons rapides après une coupure soudaine du faisceau de protons ; ceci est réalisé aisément en coupant le faisceau pendant un temps de quelques centaines de microsecondes ; [...] le temps d'activité des neutrons est approximativement exponentiel, avec une constante de temps proportionnelle à $1/1-k$; la mesure de la valeur de k peut être réalisée en continu comme une partie du mode d'exploitation standard de l'accélérateur ;"*

C. RUBBIA mentionne que les effets de la coupure soudaine du faisceau sur les cavités radiofréquence de l'accélérateur doivent être étudiées mais devraient être gérables avec le système général de contrôle de l'appareil. Je me pose également d'autres questions ;

- quelle devrait être la périodicité de l'opération de mesure "continue" du coefficient k pour avoir des renseignements significatifs sur la façon dont évolue le réacteur ?
- quel sera l'impact des brusques variations de puissance du faisceau (coupures) sur la fenêtre ? l'impact sur la tenue mécanique interne de la fenêtre a-t-il été envisagé ?

— quel sera l'impact des coupures/rallumages sur l'éventuelle activation sous rayonnement des structures de l'accélérateur ?

Ces questions ne sont peut-être pas essentielles dans les premières phases du projet. Il me semble que des développements ultérieurs ne pourront pas les éluder. Je suis plus inquiet en revanche au regard des impératifs de l'inspection en service. L'inspection en service est l'ensemble des opérations qui concourent à examiner et évaluer l'état des matériaux et structures d'un réacteur et des systèmes associés, afin de déterminer si les performances retenues à la conception sont bien atteintes et maintenues au fil du temps.

Or en l'occurrence l'Amplificateur d'Énergie n'échappe pas à la fatalité des réacteurs à métal liquide : il est très difficile d'inspecter leurs structures internes du fait de la non transparence du liquide caloporteur et de son caractère conducteur dans le cas de plomb (qui peut par exemple empêcher d'utiliser les méthodes par courants de Foucault). Nous pouvons y ajouter d'éventuelles difficultés de conception et fabrication des instruments d'inspection compte tenu de la forte pression statique existant en bas de la cuve.

Comment la fenêtre sera-t-elle vérifiée ? Peut-on se passer de vérifier la fenêtre avant la fin d'une année de fonctionnement si on prévoit de la remplacer tous les ans ? Comment les structures internes de la cuve seront-elles vérifiées ?

Cette dernière question n'est pas spécifique de l'Amplificateur d'Énergie mais elle s'applique à ce projet comme à SUPERPHENIX et aux autres réacteurs rapides. J'ai en mémoire certains passages du rapport de la DSIN publié en juin 1992, qui déplorent les restrictions aux possibilités d'inspection en service découlant des choix de conception faits pour SUPERPHENIX : *"contrairement aux réacteurs à eau sous pression pour lesquels il suffit de quelques jours pour examiner in situ tout composant sur lequel on aurait le moindre doute, une intervention souhaitable dans la cuve de SUPERPHENIX se chiffrerait en années d'arrêt (entre le déchargement du combustible et la vidange du sodium). De plus, la mise en air des structures pourrait engendrer des dégâts de corrosion irréversibles. Si ce dernier point peut à la rigueur être admis pour un prototype, il compromettrait vraisemblablement le développement de réacteurs industriels ainsi conçus : la sûreté d'un réacteur ne peut être raisonnablement assurée s'il n'est pas possible, en cas de doute, d'en contrôler toutes les structures, dans des conditions aisément envisageables. [...] Ces différentes considérations conduisent à penser que le développement de futurs réacteurs rapides nécessiterait de réexaminer et vraisemblablement de modifier de manière assez importante la conception de ces réacteurs."*

Je ne crois pas que, tôt ou tard, les concepteurs du réacteur RUBBIA ne soient pas confrontés à des questions similaires, assurément délicates.

Quant à l'avant-dernière ligne de la défense en profondeur — l'action correctrice — il est vrai que le choix d'utiliser au maximum des systèmes passifs fait que le réacteur RUBBIA ne « concourt pas dans la même catégorie » que les autres réacteurs, plutôt fondés sur la mise en oeuvre de systèmes actifs. Toute la question consiste à savoir quel

subtil équilibre on doit placer dans un réacteur pour que, entre le choix « tout passif » et le choix « tout actif », une démonstration de sûreté convaincante puisse être établie.

Lors de l'audition du 21 novembre dernier, P. BACHER exprimait une relative perplexité sur les termes de l'arbitrage actif/passif : *"Je suis à peu près convaincu [...] à cause de quelques dizaines d'années passées dans le domaine de l'ingénierie nucléaire que lorsqu'on utilise un système passif à la place d'un système actif, on résout un certain nombre de problèmes et on en soulève d'autres. On déplace les problèmes."* Certes, mais j'ai aussi tendance à croire, en fonction de mon expérience personnelle, qu'à force de déplacer les problèmes on finit toujours par les faire avancer, voire par les résoudre... D'ailleurs P. BACHER continuait son intervention en précisant *"cela me fait penser qu'il n'y a pas de différence qualitative sur le plan de la sûreté entre le système passif et le système actif. Il y aura peut-être une différence quantitative mais on ne pourra juger que sur la base d'un projet et d'analyses de sûreté."*

Après ce panorama nécessairement sommaire, je ne voudrais pas que l'on conclue hâtivement à une réticence vis-à-vis des options présentées dans le cadre du projet RUBBIA. Ce projet est fondé sur un certain nombre de choix peu courants, mal connus voire pas encore explorés. Certains de ces choix présentent des caractéristiques tout à fait favorables qui en font de bons candidats à une évaluation plus poussée. Or le projet RUBBIA, conçu au coeur des années 90, devra répondre comme les concepts homologues, éprouvés ou non, à des questions de sûreté précises et contraignantes.

En un sens on peut dire que le projet pâtit de sa date de naissance : il est clair que les exigences de sûreté sont aujourd'hui nettement plus élevées que celles qui prévalaient aux âges héroïques du nucléaire. Et même si C. RUBBIA et son équipe veulent nous faire partager leur enthousiasme qui rejoint à quelques décennies de distance celui des pionniers de l'atome, il n'empêche que leur projet est comme pris dans les filets du temps présent. On est aujourd'hui plus exigeant, plus critique, plus circonspect. Je pense parfois aux propos que me tenait l'an dernier, en Afrique du Sud, J. NICHOLLS, directeur pour la sûreté nucléaire chez l'électricien ESKOM. Sincère et provocateur à la fois, il disait en substance : pourquoi faut-il gaspiller tout ce temps et toute cette énergie en études de sûreté qui ne servent qu'à empêcher d'avancer ? *Just do it ! Just do it !*

Hélas (?) aujourd'hui, pour revenir au réacteur RUBBIA, la sous-criticité n'est plus un argument suffisamment fort à lui seul pour emporter les suffrages. La fondation est bonne, il faut aussi construire par dessus solidement... et prouver cette solidité.

L'intérêt potentiel du système proposé par C. RUBBIA pour maîtriser les déchets nucléaires doit inciter à poursuivre cet effort.

2. LE PROJET RUBBIA SE PROPOSE DE CONTRIBUER A UNE MEILLEURE MAITRISE DES DECHETS RADIOACTIFS

2.1 Le réacteur RUBBIA se présente comme un réacteur « propre »

Dans les sociétés occidentales, la question des déchets nucléaires de haute activité est l'une de celles qui obère le plus un éventuel renouveau de l'énergie nucléaire. Un nouveau concept de réacteur qui produirait moins de déchets, ou des déchets de vie plus courte, ou des déchets moins radiotoxiques, ou des déchets présentant toutes ces qualités à la fois, serait susceptible de susciter moins d'opposition dans l'opinion publique.

Si de plus il se révélait capable d'éliminer les déchets nucléaires produits par les autres filières de réacteurs, il deviendrait un véritable joyau politique. C'est à cette brillante destinée que se promet le projet de nouvelle filière nucléaire proposée par l'équipe RUBBIA.

2.1.1 Le réacteur RUBBIA produit peu d'actinides mineurs

Il n'est pas dans mon but de livrer ici un cours magistral sur la transmutation et la physique nucléaire appliquées aux actinides. Il y a des adresses plus cotées pour ce faire. Il apparaît au yeux du candide que plusieurs facteurs amènent à considérer favorablement le projet de réacteur RUBBIA au regard de la production d'actinides.

1. Le réacteur RUBBIA est un réacteur à neutrons rapides ; ceci a deux conséquences intéressantes :

- les réactions de fission sont favorisées par rapport aux réactions de capture si l'on utilise des neutrons rapides plutôt que des neutrons thermiques ; or en général les réactions de capture sont indésirables puisqu'elles conduisent à un accroissement de la masse atomique de l'élément capturant, pavant ainsi la voie à la formation d'un actinide de rang supérieur ;
- comme je l'ai indiqué plus haut, l'économie neutronique est meilleure dans le spectre rapide, donnant aux réacteurs du même nom de meilleures capacités pour « absorber » des combustibles de réactivité variable.

2. Le réacteur RUBBIA est un système hybride. La sous-criticité du coeur lui donne des marges plus importantes pour accueillir des combustibles à forte concentration en actinides. On considère par exemple que les réacteurs à neutrons rapides traditionnels (c'est-à-dire critiques) ne peuvent pas utiliser de combustible contenant plus de 5% d'actinides mineurs environ car la proportion de neutrons retardés serait alors trop réduite pour assurer la maîtrise de la réactivité dans de bonnes conditions.

Par ailleurs le réacteur est « tolérant » à des combustibles de qualités diverses puisqu'il n'y a pas besoin d'ajuster précisément le coefficient de multiplication neutronique k à la valeur 1 (comme dans un réacteur critique). Il est bien sûr souhaitable que k ne subisse pas de variation trop importante afin de ne pas compliquer les paramètres de fonctionnement du réacteur. Néanmoins la sous-criticité autorise une certaine flexibilité.

3. Le réacteur RUBBIA utilise le cycle du thorium, ce qui retarde et réduit la montée vers les actinides mineurs. En effet il faut au moins 5 captures neutroniques pour parvenir au premier transuranien significatif (Np_{237}) et 7 captures pour parvenir au Pu_{239} alors qu'il suffit d'une capture pour passer de l' U_{238} au Pu_{239} (via le Np_{239} suivi d'une décroissance radioactive β^-). Plus le nombre de captures nécessaires est élevé, plus la probabilité de créer l'élément concerné est faible ⁽⁴⁵⁾.

Dans la publication [CR-95], l'équipe RUBBIA a procédé à une évaluation approfondie du comportement de son combustible à l'aide d'un programme informatique simulant les différentes réactions nucléaires susceptibles de se produire : captures neutroniques, fissions, réactions ($n, 2n$), décroissance radioactive, etc.

La densité de puissance retenue pour l'évaluation est 100 W.g^{-1} bien que le texte indique que les résultats sont largement indépendants de la valeur choisie. Après une combustion assignée à 150 GW.j.t^{-1} , les produits de fission et les actinides sont enlevés du combustible et celui-ci « régénéré » par apport de Th_{232} frais ; les actinides sont replacés dans le combustible « neuf » pour un nouveau passage en réacteur. Le cycle de l'Amplificateur d'Énergie est donc complètement clos, excepté pour les produits de fission.

Dans le combustible usé, les quantités d' U_{233} et de Th_{232} sont dans leurs proportions d'équilibre radioactif. Comme la masse de combustible consommée lors du cycle de fonctionnement n'est pas négligeable, la quantité d' U_{233} présente dans le combustible usé a sensiblement diminué ; si l'on n'ajoute que du Th_{232} , cette quantité est insuffisante pour retrouver une situation d'équilibre radioactif avec Th_{232} .

Il est donc nécessaire de disposer en fin de cycle d'une quantité supplémentaire d' U_{233} . Pour cette raison une zone spécialement destinée à la surgénération $\text{Th} \rightarrow \text{U}$ est adjointe au coeur. Composée uniquement de Th_{232} en début de cycle, elle fabrique de l' U_{233} par une montée progressive vers l'équilibre radioactif. Notons que cette procédure revient à prendre un coeur qui, dans sa globalité, est plus éloigné de l'équilibre et dont la réactivité est plus faible (Th est excédentaire par rapport à U) ; l'irradiation conduit, malgré la disparition d' U_{233} par fission, à maintenir constante pendant tout le cycle la masse totale d' U_{233} présente dans le coeur, donc à permettre d'enchaîner directement le cycle suivant. Cependant, pour des raisons de bonne économie neutronique, il est préférable de ne pas utiliser un coeur homogène mais hétérogène :

- dans sa partie centrale (la plus importante), le coeur fonctionne avec Th et U dans leurs proportions d'équilibre, de façon à lui donner une réactivité « de base » suffisante ;
- dans sa partie périphérique des assemblages de Th pur « récupèrent » utilement les fuites neutroniques s'échappant du coeur et surgénèrent de l'uranium 233.

⁴⁵ Si je parle de probabilité, je dois préciser "dans un intervalle de temps déterminé". N'importe quelle durée peut être retenue, mais on peut choisir par exemple la durée du cycle de fonctionnement, qui a en l'occurrence une signification certaine.

C'est bien entendu le même principe qui est mis à profit dans les réacteurs à neutrons rapides classiques. Leurs coeurs étant plus plats que celui du réacteur RUBBIA pour des raisons de maîtrise de la réactivité, le confinement neutronique axial est plus faible que dans le réacteur RUBBIA, ce qui permet de placer aussi des assemblages fertiles dans une couverture axiale. Le régime hydraulique du liquide caloporteur n'en est que modérément affecté puisque le refroidissement ne fait pas appel à la convection naturelle mais à la convection forcée par les pompes primaires.

Le code de calcul mis au point par l'équipe RUBBIA détermine ensuite l'évolution des concentrations de tous les radioéléments lorsque le combustible est préparé selon la méthode présentée ci-dessus. Les figures 2.8a, 2.8b et 2.8c de [CR-95] présentent les résultats pour les actinides les plus célèbres. Sans trop de surprise, on y trouve les caractéristiques attendues [voir les figures 2.8b et 2.8c en page suivante] :

- la concentration des différents radioéléments s'accroît avec le niveau global d'irradiation jusqu'à ce que les phénomènes tendant à l'apparition et à la disparition de l'élément s'équilibrent ; la concentration tend alors vers une valeur asymptotique caractéristique de chaque radioélément (dans des conditions déterminées de flux et de spectre neutroniques) ⁽⁴⁶⁾ ;
- de façon générale, plus le numéro atomique des actinides est élevé, plus leur apparition est tardive ; l'exception du Np_{236} (voir figure 2.8b, cadre inférieur gauche) s'explique par le fait que son mode principal d'apparition résulte d'une réaction $(n, 2n)$ sur Np_{237} ;
- de même, plus le numéro atomique des actinides est élevé, plus leur concentration est faible ; en effet les fissions qui se produisent à chaque étape de la chaîne radioactive réduisent d'autant le nombre de noyaux précurseurs pour passer à l'étape suivante par capture ($X_A \rightarrow X_{A+1}$), par désintégration β^- ($X^Z \rightarrow X^{Z+1}$), par désintégration α ($X^Z \rightarrow X^{Z-2}$) ou par réaction $(n, 2n)$ ($X_A \rightarrow X_{A-1}$).

Le neptunium et le plutonium (tous isotopes confondus) sont produits en quantité négligeable pendant les premières recharges ; leur concentration à l'équilibre atteint respectivement 0,1% et 0,3% ; la concentration asymptotique des autres actinides reste inférieure au dix-millième. Normalisée à la quantité d'énergie produite, ces valeurs sont encore plus "ridiculement" faibles. La comparaison avec les quantités des mêmes éléments produits dans un REP en cycle ouvert (c'est-à-dire sans retraitement ni MOX) pour un taux de combustion de 33 000 MW.j.t⁻¹ montre que la production d'actinides par un réacteur RUBBIA en cycle fermé est près de 1000 fois inférieure.

⁴⁶ Notons que, à strictement parler, il n'est pas exact de considérer que le combustible baigne dans un flux neutronique de caractéristiques invariables : ce flux est également influencé par la composition du combustible, qui est évolutive.

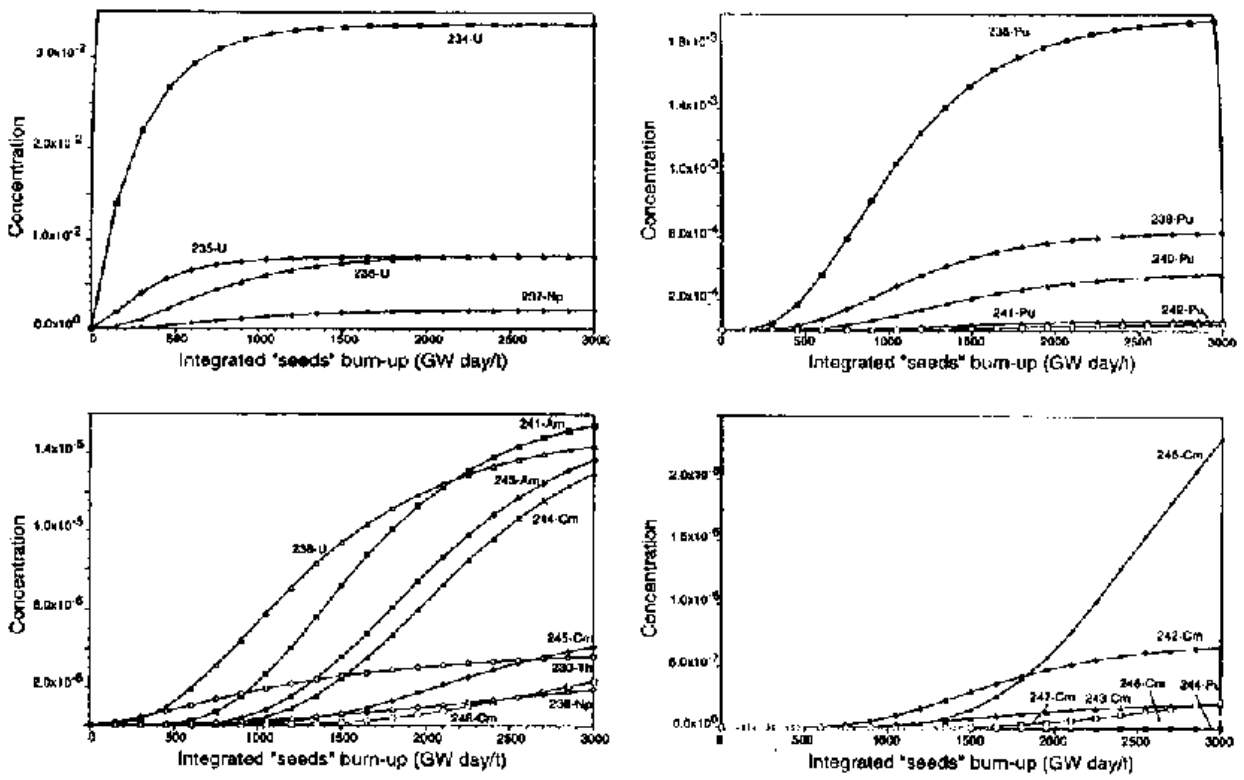


Figure 2.8b

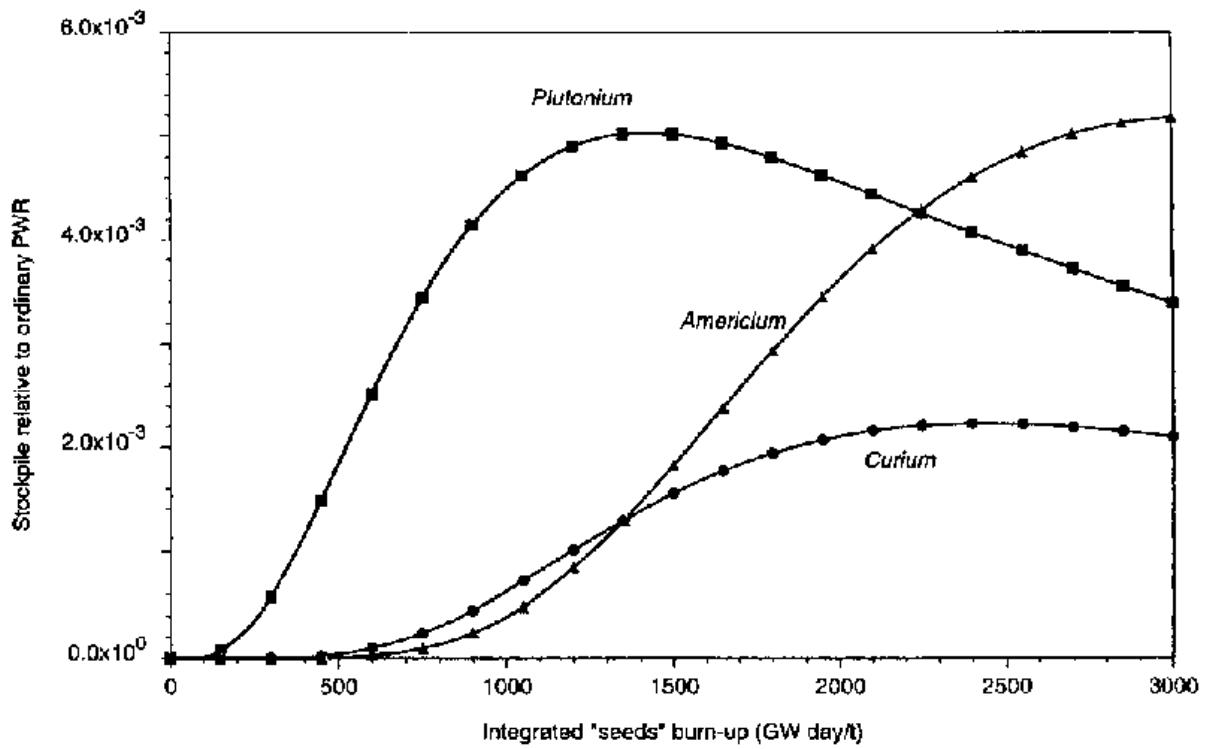


Figure 2.8c

Enfin l'évaluation concomitante du coefficient de multiplication k montre que l'influence du taux de combustion est négligeable : les actinides en concentration croissante ne perturbent que faiblement les caractéristiques de réactivité ⁽⁴⁷⁾. C. RUBBLA conclut en définitive que *"le combustible peut être utilisé indéfiniment dans une chaîne de cycles. En fait le combustible peut durer au-delà de la durée de vie de l'installation et être réutilisé aussi longtemps qu'il y a un attrait pour l'Amplificateur d'Énergie, avec une perte de performances très faible ou inexistante. Au contraire d'un réacteur ordinaire, l'Amplificateur d'Énergie ne produit pas de « déchets actinides » à proprement parler mais seulement des « intrants » valorisables pour une nouvelle utilisation ; une fois que les concentrations asymptotiques ont été atteintes, il n'y a pas d'augmentation significative de la radiotoxicité de l'inventaire en actinides lors de l'exploitation [du réacteur]."*

2.1.2 Le réacteur RUBBLA peut éliminer d'autres déchets nucléaires

Les qualités mises à profit pour éliminer la plupart des actinides produits au cours de l'exploitation d'un réacteur RUBBLA peuvent l'être également pour éliminer les actinides produits par d'autres filières nucléaires. C'est ainsi que l'équipe RUBBLA a exploré la possibilité d'utiliser du combustible dont l'élément fertile serait toujours Th_{232} mais dont l'élément fissile dans les charges combustibles de démarrage serait Pu_{239} , issu du cycle U-Pu classique. De même le fonctionnement de l'Amplificateur d'Énergie avec un cycle U-Pu intégral a été étudié (élément fertile = U_{238} , élément fissile = Pu_{239}).

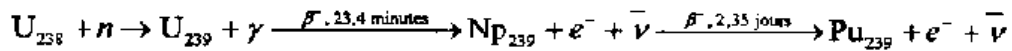
Par rapport au cycle thorium présenté auparavant, on perd principalement l'avantage de la faible production d'actinides : on part directement d'un élément de masse atomique 238. Cependant ces deux modes de fonctionnement peuvent également être jugés intéressants pour deux autres raisons :

- *"un mélange initial de Th et de « plutonium sale » ⁽⁴⁸⁾ provenant de l'inventaire de plutonium excédentaire (dont les quantités s'élèvent à plus de 1000 tonnes), actuellement destiné à un stockage géologique [permettrait] de transformer le plutonium en U_{233} avec une efficacité de 85%, qui serait utilisé par exemple pour faire démarrer d'autres Amplificateurs d'Énergie, en plus d'incinérer les résidus indésirables et de produire une quantité considérable d'énergie"* ;
- la mise en oeuvre du cycle U-Pu en boucle complètement fermée permettrait une bonne valorisation du potentiel énergétique contenu dans les stocks d'U appauvri qui sont actuellement entreposés par l'industrie de l'enrichissement ; ceux-ci restent sans destination particulière compte tenu des difficultés techniques et de la faible incitation économique à développer au niveau industriel une filière de réacteurs à neutrons rapides.

⁴⁷ Ou plus exactement de bilan neutronique global, car les paramètres influençant la dynamique du réacteur sont certainement modifiés plus profondément (par exemple la proportion de neutrons retardés).

⁴⁸ C. RUBBLA appelle *"plutonium sale"* le mélange de plutonium et d'actinides issus de la combustion « classique » de l'uranium dans les réacteurs à eau légère. Remarquons que cette vision, qui s'oppose en cela à celle de la politique énergétique française, met sur le même plan le plutonium et les actinides et les assimile à des déchets au regard de la filière nucléaire normale.

Cette valorisation nécessite l'utilisation des neutrons rapides. En effet les neutrons thermiques sont insuffisants pour assurer une bonne réactivité du combustible. Rappelons que le passage de l'élément fertile à l'élément fissile se fait selon l'enchaînement suivant :



Au demeurant l'équipe RUBBIA remarque que du fait de la décroissance rapide de Np_{239} en Pu_{239} , l'inventaire du combustible en neptunium reste faible ; il s'ensuit que l'augmentation de réactivité après arrêt (due à la désintégration $Np \rightarrow Pu$) est plus réduite que dans le cycle Th-U. Compte tenu de la valeur plus élevée du coefficient de multiplication k_{∞} , on pourrait alors concevoir un réacteur critique, c'est-à-dire un réacteur à neutrons rapides « classique ».

L'équipe RUBBIA éprouve alors le besoin de manifester sa différence. Le risque à ce stade serait qu'un esprit malveillant s'interroge sur l'intérêt réel de la machine RUBBIA puisqu'un réacteur à neutrons rapides « classique » pourrait aussi bien faire l'affaire au plan de la gestion des matières. C. RUBBIA s'appuie alors sur la sous-criticité de l'Amplificateur d'Énergie pour indiquer que l'on pourrait par exemple prolonger l'épuisement du combustible au-delà des 100 GW.j.t⁻¹ classiquement retenus dans les réacteurs rapides. La plus grande flexibilité de l'Amplificateur d'Énergie vis-à-vis des évolutions du coefficient de multiplication k permettrait d'aller jusqu'à des taux de combustion de 200 GW.j.t⁻¹. Il faudrait alors prévoir d'enlever les produits de fission accumulés dans les aiguilles, qui risqueraient de remettre en cause l'intégrité du gainage.

De façon plutôt étrange, la publication [CR-95] préconise de se contenter d'un regainage des pastilles accompagné de la récupération des produits de fission gazeux, au motif que *"ces procédures sont beaucoup plus simples qu'un retraitement complet et en principe ne conduisent pas à être exposé à la radiotoxicité totale du combustible."* Je vois mal comment on pourrait concrètement replacer dans un gainage neuf des pastilles déjà irradiées à plusieurs dizaines de GW.j.t⁻¹ : les difficultés techniques (fragilité mécanique des pastilles, déformations géométriques, etc.) et les questions de sûreté (la tenue des pastilles est-elle compatible avec les exigences de sûreté au-delà de 100 GW.j.t⁻¹ ?) me paraissent délicates à surmonter.

C. RUBBIA aurait pu rappeler également la moindre sensibilité de son réacteur aux paramètres dynamiques de la fission (proportions de neutrons retardés par exemple), qui rendent sa machine plus apte à supporter des taux de combustion élevés, impliquant en particulier des concentrations en actinides plus élevées. Il est vrai qu'en l'occurrence c'est l'empoisonnement du combustible par les produits de fission qui est le principal paramètre limitant.

Quoi qu'il en soit, l'équipe RUBBIA s'est ensuite attachée à donner quelques clefs pour évaluer le comportement de charges de combustible de nature variée. Pour simplifier, je retiendrai uniquement les éléments suivants :

- l'évaluation est effectuée en supposant invariable le spectre neutronique qui baigne le combustible ;

- on peut alors considérer que l'évolution d'un combustible complexe se déduit de celle de ses constituants élémentaires en effectuant une simple moyenne arithmétique pondérée par leur taux respectif d'absorption neutronique (capture + fission) ;
- l'équipe RUBBIA effectue alors grâce à son code de calcul une évaluation portant sur cinq combustibles « élémentaires » composés respectivement de Th_{232} pur, d' U_{233} pur, d' U_{235} pur, de Pu_{239} pur, du mélange typique d'actinides récupéré dans le combustible irradié dans un REP à 33 000 GW.j.t⁻¹.

Au vu des résultats retracés dans les figures 2.11 à 2.14, C. RUBBIA estime alors que *"les caractéristiques des divers éléments fissiles d'une part et des deux principaux matériaux fertiles d'autre part sont étonnamment similaires. Cela signifie que l'on a une grande flexibilité pour substituer les matières fissiles entre elles ou pour constituer avec elles un mélange adapté aux besoins : un large spectre de choix est possible, selon la disponibilité des [éléments] combustibles et selon l'application souhaitée. Le même Amplificateur d'Énergie peut être utilisé (et même de façon simultanée) (1) pour produire de l'énergie, (2) pour transformer des combustibles, par exemple le plutonium en U_{233} , (3) pour incinérer les actinides non désirés."*

Les potentialités des systèmes hybrides pour éliminer des quantités importantes d'actinides sont aujourd'hui largement reconnues dans le monde nucléaire. Pour illustrer cette opinion générale, je voudrais simplement mentionner une évaluation présentée conjointement par des chercheurs du Centre de Recherches nucléaires de Karlsruhe et des chercheurs du CEA lors de la conférence Global'95⁽⁴⁹⁾. Ce travail visait à comparer les possibilités de différents systèmes nucléaires vis-à-vis de la transmutation des radioéléments.

Plus précisément, l'étude porte sur l'évolution de plusieurs systèmes sous-critiques constitués autour des éléments communs suivants :

- un faisceau de protons d'énergie 1,6 GeV et d'intensité 20 mA ;
- des coeurs chargés 5 tonnes d'actinides mineurs résultant de l'exploitation de 143 REP×années (réacteurs de 1000 MW électriques) ; leur composition initiale est donc identique ;
- un réseau d'aiguilles combustibles inspiré de la configuration retenue dans le *Fast Flux Test Facility* du centre de Hanford (États-Unis) ;
- un taux de combustion de 100 000 MW.j.t⁻¹ ;
- une modélisation effectuée grâce au couplage de trois codes informatiques.

⁴⁹ H. KÖSTERS, B. KIENZLER, Z. KOLARIK, M. SEGEV, H.W. WIESE, M. SALVATORES, I. SLEVARIS, A. ZAETTA, *The Nuclear Fuel Cycle for Transmutation : a Critical Review*, actes de la conférence Global'95, vol. 1, p. 1076.

Trois coeurs ont été étudiés : (1) combustible oxyde refroidi au sodium, (2) combustible métallique refroidi au sodium, (3) combustible oxyde refroidi au plomb. L'accélérateur peut être exploité de deux façons :

- le courant du faisceau de protons est constant ; entre le début et la fin du cycle de fonctionnement, l'évolution du combustible sous l'effet de l'irradiation se traduit alors par une augmentation de sa réactivité, de la densité de puissance dans le combustible, du flux et de l'énergie fournie au réseau ;
- la puissance thermique dégagée dans le combustible est constante ; cela nécessite donc un ajustement de l'intensité du faisceau de protons tout au long du cycle (décroissance) mais les caractéristiques thermiques et énergétiques du coeur restent constantes pour leur part ; l'énergie délivrée au réseau varie dans de moins grandes proportions que précédemment.

Sauf l'effet éventuel des différences de flux entre les deux modes d'exploitation⁽⁵⁰⁾, les performances des trois coeurs ne dépendent que du taux de combustion choisi par les concepteurs et non du mode d'exploitation de l'accélérateur. Le tableau suivant montre que les systèmes sous-critiques ont une bonne capacité d'incinération, que l'emploi d'un combustible métallique n'apporte pas d'amélioration des performances et que le coeur refroidi au plomb est le meilleur des trois.

Performances des coeurs incinérateurs

	Coeur 1 oxyde-sodium	Coeur 2 métal-sodium	Coeur 3 oxyde-plomb
Masse d'actinides transmutés	1259 kg	971 kg	1218 kg
Durée d'exploitation	3 ans	2,5 ans	1,5 ans
Masse d'actinides transmutés en 300 jours	420 kg	388 kg	813 kg
Nombre de REP « nettoyés » en 1 an	12	11	23

Comme cela a été suggéré précédemment, les auteurs signalent que diverses études "ont montré que les systèmes sous-critiques pilotés par accélérateur n'ont pas a priori un meilleur potentiel de transmutation que les réacteurs rapides standards qui mettent en jeu un flux neutronique élevé ($\phi \approx 10^{15} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Comme déjà dit plus haut, leur intérêt vient essentiellement de leur sous-criticité [...]" En fait le papier présenté à Global'95 estime que l'apport principal des systèmes sous-critiques pourrait être de faciliter l'élimination des produits de fission, ou tout au moins de certains d'entre eux.

Il est vrai que l'intérêt d'un système nucléaire au regard de la maîtrise des déchets ne doit pas seulement s'apprécier à l'aune de sa capacité théorique à éliminer les actinides. Il faut prendre en compte dans le jugement un ensemble de paramètres beaucoup plus complet. L'objectif doit être finalement d'évaluer un détriment radiologique global induit par le fonctionnement de l'ensemble de la filière.

⁵⁰ Effet semble-t-il limité puisque le flux ne varie que de $2,2.10^{15} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ au début du cycle à $5,1.10^{15} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ à la fin du cycle si l'on exploite l'accélérateur en courant constant.

2.2 Le détriment radiologique induit par la filière RUBBIA est conditionné par de nombreux autres paramètres

2.2.1 La filière RUBBIA suppose la validation industrielle du procédé de retraitement pyrométallurgique

Le projet RUBBIA se positionne clairement comme mettant en oeuvre un cycle du combustible fermé, et j'allais dire « encore plus fermé » que le cycle U-Pu conçu autour des réacteurs rapides traditionnels puisque les actinides ne sont pas censés s'en échapper.

C. RUBBIA estime d'ailleurs que le terme de « retraitement » ne doit pas être entendu de la même façon lorsqu'on parle des réacteurs traditionnels et lorsqu'on parle de l'Amplificateur d'Énergie. Dans le premier cas le retraitement a pour principal objectif de préparer les matières radioactives présentes dans le combustible usagé à un enfouissement géologique profond ; dans le second "le retraitement du combustible devrait plutôt être décrit comme une régénération du combustible" puisque l'on n'en extrait que les éléments les plus difficilement transmutables, les produits de fission, et qu'on les remplace par un mélange approprié de thorium et d'uranium.

L'efficacité du système proposé par C. RUBBIA repose en grande partie sur l'efficacité des procédés de retraitement, en particulier leur capacité à séparer les actinides des produits de fission. La formidable capacité théorique d'« autoépuration » du réacteur RUBBIA ne trouve à se montrer pleinement que si la quasi-totalité des actinides présents dans le combustible à la fin de chaque cycle de fonctionnement est réinjectée dans le combustible neuf utilisé au cycle suivant.

Le combustible choisi pour le réacteur RUBBIA étant sous forme d'oxyde — comme c'est le cas pour tous les combustibles utilisés dans les réacteurs commerciaux — il est normal de songer en premier lieu à utiliser un procédé en phase aqueuse. De même que le procédé PUREX a été mis au point (au niveau industriel) pour les combustibles du cycle U-Pu, de même un procédé dénommé THOREX a été conçu et testé pour les combustibles du cycle Th-U. J.P. SCHWARTZ, alors conseiller auprès du Haut Commissaire du CEA, m'a cependant déclaré lors d'un entretien que le cycle du thorium a dépassé le stade du laboratoire mais n'est pas encore allé au-delà du pilote.

La première étape du retraitement d'un combustible oxyde consiste à mettre en solution les matières radioactives par dissolution acide. C. RUBBIA indique qu'il convient d'attendre au moins un an avant d'effectuer cette dissolution afin d'obtenir la désintégration complète de Pa_{233} en U_{233} . Cela me semble être une durée tout à fait minimale compte tenu du caractère fortement irradiant d'un combustible usé.

Une fois filtrée la solution acide et ôtés les résidus solides (gaines, coques, embouts divers, etc.), vient la phase d'extraction-séparation des différents radioéléments. THOREX utilise le même extracteur que PUREX, à savoir le tributylphosphate (TBP) et il est soumis aux mêmes limitations que celui-ci :

- le rendement d'extraction pour U et Th tourne autour de 99,5 % (cette valeur est garantie contractuellement pour U et Pu dans le procédé PUREX) ;

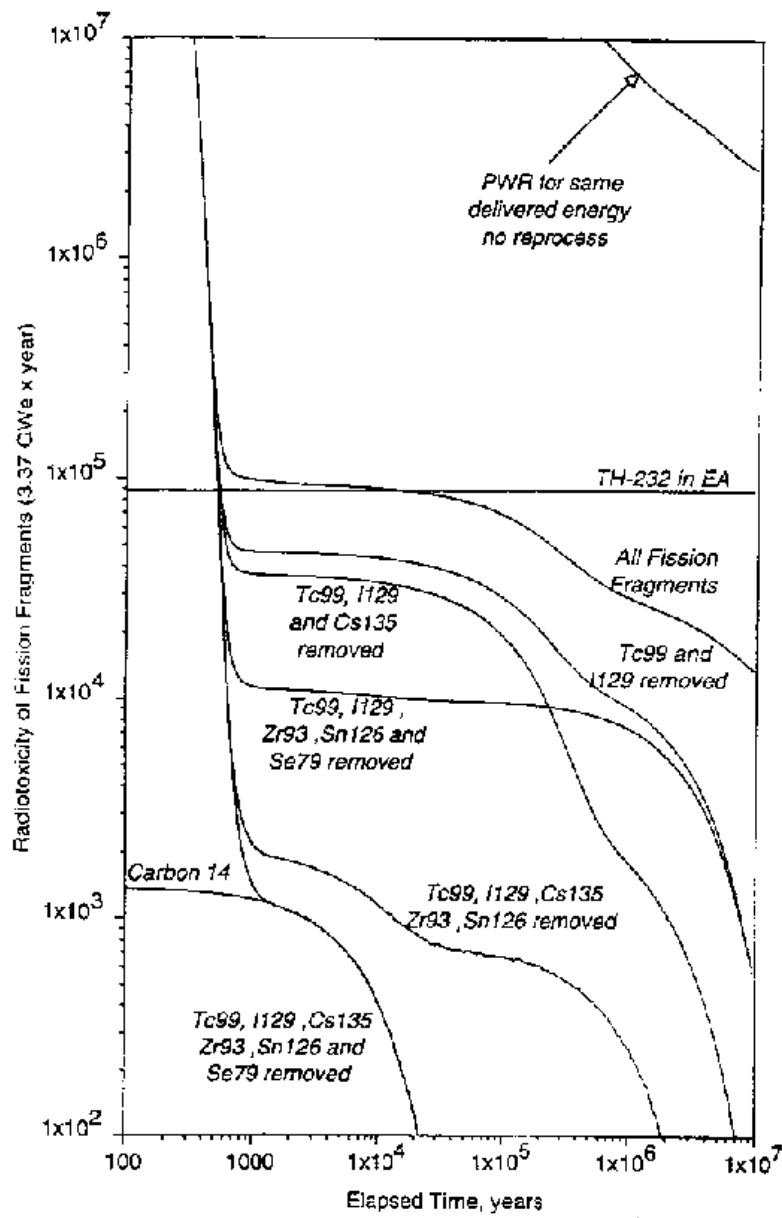


Figure 6.3

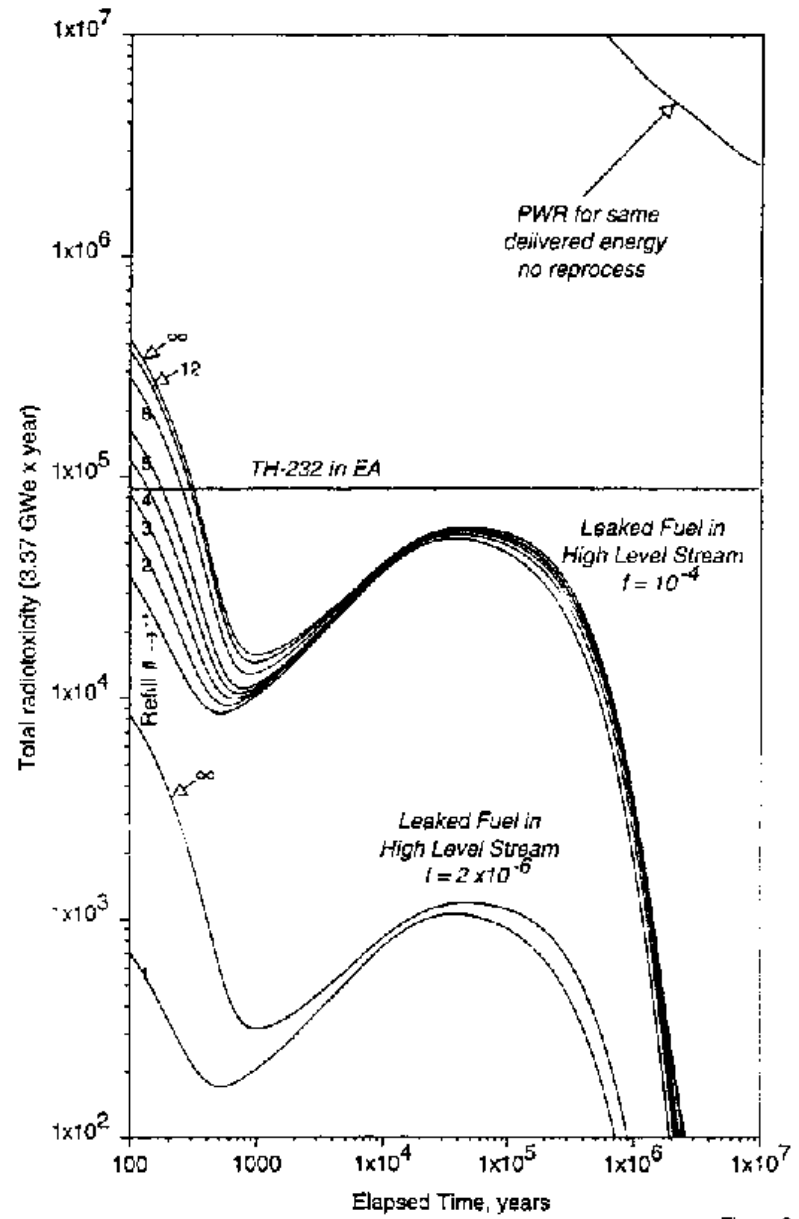


Figure 6.4

— la concentration en actinides mineurs étant faible dans le cycle thorium, leur rendement d'extraction est également faible.

THOREX sépare la solution acide en deux flux : d'un côté une solution contenant essentiellement l'uranium et le thorium, mais faiblement contaminée en produits de fission et autres actinides ⁽⁵¹⁾ ; de l'autre une solution contenant essentiellement les produits de fission et les actinides, mais faiblement contaminée en uranium et thorium résiduels ; c'est celle-ci qui est seule destinée à isoler les déchets de la filière. Si le réacteur RUBBIA veut mériter sa vocation de « réacteur propre », il faut donc pousser le retraitement de cette dernière solution afin de récupérer au maximum les actinides mineurs ainsi que l'uranium et le thorium résiduels.

Notons que, dès lors que l'on utilise le cycle thorium, les principaux actinides présents sont le protactinium, le neptunium et le plutonium ; les actinides de rang plus élevés sont en quantité au moins dix fois inférieure.

L'examen des figures 6.3 et 6.4 de la publication [CR-95] montre que, après une rapide décroissance due à la disparition des produits de fission à vie courte ou moyenne, la radiotoxicité des déchets (j'entends ici des matières non renvoyées dans l'Amplificateur d'Énergie) est gouvernée essentiellement par les produits de fission sur l'intervalle [1000, 100 000] ans (cf. figure 6.3) tandis que la radiotoxicité due aux autres éléments (U, Th, autres actinides) est 3 à 10 fois inférieure au cas où ces « fuites » ne représentent que 0,01% des quantités de Th, d'U et autres actinides présentes dans le combustible usé (cf. figure 6.4). Il apparaît donc que si l'on se contente d'utiliser le procédé THOREX avec un rendement d'extraction de 99,5% pour U et Th et bien moindre pour les autres actinides, les « fuites » de ces radioéléments dans le flux normalement réservé aux produits de fission seront très largement supérieures à 0,01% : elles seront d'environ 0,5% soit 50 fois plus élevées que ce qui est souhaité dans le projet RUBBIA.

Dans ces conditions, la radiotoxicité des déchets devient gouvernée par les actinides majeurs et mineurs dans l'intervalle [1000, 100 000] ans, à un niveau environ 10 fois plus élevé que celui souhaité.

Il est vrai que, en tous les cas, cette radiotoxicité serait bien moindre que celle d'un REP fonctionnant en cycle ouvert (ramenée à la même quantité d'énergie produite). Les figures 6.1 à 6.4 montrent la courbe correspondante bien plus haut perchée que celles relevant de l'Amplificateur d'Énergie. Il faut dire que les bases de la comparaison sont difficiles à établir :

- s'agit-il de comparer avec une politique énergétique rejetant le retraitement et ayant choisi la voie du stockage direct des combustibles irradiés ? la comparaison est alors tout à fait valable ;
- s'agit-il de comparer avec une politique énergétique axée sur le retraitement et l'utilisation des matières récupérées dans un parc de réacteurs à neutrons rapides ? la comparaison est alors biaisée puisque la radiotoxicité dont la

⁵¹ On peut bien entendu améliorer la pureté de la solution « principale » contenant les 99,5% de Th et d'U, au prix d'un nouvel investissement en chaînes de séparation (colonnes pulsées...).

publication [CR-95] fait état pour le REP inclut la totalité de l'uranium et du plutonium présents dans le combustible irradié ; ces éléments doivent, dans la perspective d'un cycle U-Pu fermé, être eux aussi considérés comme des « intrants » du cycle suivant, donc leur radiotoxicité ne doit pas être comptabilisée dans celle des déchets ; à ceux qui objecteraient qu'un tel parc nucléaire composite n'existe pas encore on pourrait répondre que les réacteurs RUBBIA n'existent pas non plus !

- l'ambiguïté demeure lorsque, comme c'est le cas aujourd'hui dans certains pays dont la France, le retraitement permet de séparer du reste des déchets l'uranium et le plutonium normalement réutilisables mais que l'absence de réacteurs rapides fait que le cycle n'est que partiellement fermé ; comment dans ces conditions comptabiliser la radiotoxicité de déchets dont on a du mal à cerner les contours ?

Quoi qu'il en soit, il s'avère que l'équipe RUBBIA a fait le choix d'avoir une radiotoxicité des déchets due aux actinides divers au moins inférieure à celle des produits de fission pendant l'intervalle [1000, 100 000] ans. Cela implique de mettre en oeuvre un procédé de retraitement poussé capable de garantir un taux de « fuites » au plus égal à 0,01 %. L'équipe RUBBIA a alors été amenée à se tourner vers les projets de retraitement pyrométallurgique développés par exemple à l'*Argonne National Laboratory* dans le cadre du programme IFR (*Integral Fast Reactor*), projet que j'avais longuement décrit dans mon rapport 1991.

Selon les indications données par C. RUBBIA lors de l'audition du 21 novembre, l'état actuel de développement du procédé à Argonne donnerait un facteur de pertes de 10^{-3} pour les actinides dans le flux des produits de fission. Il faudrait donc encore progresser d'un ordre de grandeur pour parvenir à l'objectif fixé pour l'Amplificateur d'Énergie. Notons que, alors que la publication [CR-95] présentait les opérations de retraitement comme faisant appel *successivement* au procédé THOREX puis au procédé pyrométallurgique, C. RUBBIA a indiqué le 21 novembre que ce dernier avait aujourd'hui sa "nette préférence".

Il faut remarquer que, en tout état de cause, il sera nécessaire de mettre au point un procédé viable pour l'extraction du protactinium, qui n'est pas présent dans le cycle U-Pu. Il est possible que le procédé pyrométallurgique permette de traiter comme les autres ce radioélément mais des travaux complémentaires s'imposeront peut-être.

Qu'elle soit unique ou ultime, l'étape du procédé pyrométallurgique conduit à ce que le flux de déchets de haute activité finalement extrait du combustible issu de l'Amplificateur d'Énergie est constitué "*principalement des produits de fission avec seulement quelques traces d'actinides.*" Le volume produit est d'environ 5 m³ par tonne de combustible. L'étape suivante consiste à concentrer le raffinat aqueux et à le transférer dans un stockage intermédiaire. Après 10 ans de refroidissement on pourra procéder à la solidification du résidu.

Au plan quantitatif, chaque charge de combustible représente environ 27,6 tonnes. Les actinides récupérés ont une masse de 24,7 tonnes tandis que les produits de fission

pèsent près de 2,9 tonnes ⁽⁵²⁾. Rappelons aussi que ces masses sont mises en jeu à chaque cycle de fonctionnement, c'est-à-dire tous les 5 ans.

L'intérêt du retraitement poussé dans l'évaluation de l'impact radiologique global du projet RUBBLA est mis en évidence par la comparaison des impacts théoriques d'un cycle uranium et d'un cycle thorium fonctionnant en bouclé fermée quasi-intégrale. P. WYDLER, de l'Institut Paul Scherrer, a procédé à la comparaison de la "radiotoxicité du combustible et des risques à long terme d'un dépôt définitif", dans une annexe au rapport PSI-96-17. Il y est ainsi écrit que "l'Amplificateur d'Énergie est un système destiné à l'utilisation à long terme de l'énergie nucléaire. Cela signifie que le combustible doit être retraité et recyclé. Il s'établit alors, après environ 50 ans, un équilibre dans la composition du combustible, laquelle peut être estimée par le calcul. Dans l'hypothèse que les pertes au retraitement et à la fabrication du combustible sont les mêmes pour le thorium et pour l'uranium, le PSI a obtenu les radiotoxicités des déchets données ci-dessous (calculs non publiés) :

années	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
uranium (Sv/kg) ⁽¹⁾	5,2.10 ⁸	2,9.10 ⁸	8,8.10 ⁵	3,2.10 ⁵	1,6.10 ⁴	1,2.10 ³	1,4.10 ²
uranium/thorium ⁽²⁾	5,1	6,0	43,6	7,9	0,3	0,4	13,4

(1) radiotoxicité des actinides dans le combustible à l'uranium

(2) rapport des toxicités : combustible à l'uranium / combustible au plutonium

"Il s'avère que les différences entre les cycles de combustible ne sont pas aussi grandes qu'on aurait pu le penser et que l'uranium est même plus favorable dans l'intervalle de temps 100 000 à 1 million d'années." Une estimation du risque induit par le stockage définitif des résidus a été effectuée sur la base de paramètres utilisés dans le cadre des évaluations conduites en Suisse pour le projet national de stockage géologique. "Les doses individuelles annuelles calculées pour le cas d'une libération directe des déchets sont données ci-dessous :

	Dose maximale ⁽¹⁾	Instant d'apparition
cycle uranium-plutonium	3,3	2,5.10 ⁵ années
cycle thorium-uranium	22,9	3,2.10 ⁵ années

(1) ramenée au maximum correspondant à une composition d'actinides du type « Kristallin-I »

"Dans les deux cas c'est le Ra₂₂₆ qui est déterminant pour les doses. Le précurseur responsable est U₂₃₄. Ce résultat signifie que le thorium ne peut pas simplifier les problèmes liés à un dépôt définitif. Pour qu'il puisse le faire, il faudrait que les pertes de combustible nucléaire soient systématiquement plus faibles dans le cycle du thorium que dans le cycle de l'uranium-plutonium. Or, d'après les connaissances actuelles, il n'y a pas de raison qu'il en soit ainsi."

On voit clairement posée ici la problématique de l'efficacité du retraitement. On voit également que, de toutes façons, une comparaison entre les radiotoxicités induites par le cycle thorium et par le cycle uranium ne peut s'abstraire de scénarios d'exposition.

⁵² Dans des conditions où le coefficient de multiplication est 0,95, le facteur de charge de l'accélérateur 100%, l'intensité du faisceau 30 mA, le gain énergétique de l'Amplificateur d'Énergie 50 et la puissance consommée par l'accélérateur 10% environ de la puissance électrique totale produite, soit ≈ 60 MW.

La principale difficulté, que signalait d'ailleurs C. RUBBIA au cours de l'audition, réside ainsi dans le fait que le procédé pyrométallurgique est encore au stade du développement... Dans ces conditions, on n'a à l'heure actuelle aucune garantie sur le niveau réel de la radiotoxicité des déchets issus d'un réacteur RUBBIA.

A supposer d'ailleurs que le procédé pyrométallurgique soit pleinement opérationnel, à une échelle industrielle, resterait encore à évaluer la radiotoxicité des déchets ultimes, les produits de fission à vie longue, et à juger si elle est acceptable.

2.2.2 Le sort des produits de fission n'est pas véritablement réglé dans la filière RUBBIA

Dans une formulation que d'aucuns jugeront peut-être provocante, C. RUBBIA déclarait que l'Amplificateur d'Énergie devait se positionner pour produire des déchets dont la radiotoxicité serait inférieure à celle des cendres issues de la combustion du charbon dans les centrales thermiques. Quelle que soit la référence par rapport à laquelle on cherche à placer les vertus de l'Amplificateur d'Énergie, il convient d'évaluer le traitement réservé aux produits de fission à vie longue.

Ceux-ci sont essentiellement le technétium 99, l'iode 129, le césium 135 et dans une moindre mesure l'étain 126, le zirconium 93 et le sélénium 79. Ces produits sont difficilement transmutables du fait de leur faible section efficace d'absorption dans le spectre rapide. C. RUBBIA souhaitait dans [CR-95] *"promouvoir un effort vigoureux de recherche et développement sur les méthodes destinées à incinérer la masse des produits de fission à vie longue. L'Amplificateur d'Énergie est un outil efficace pour incinérer ces déchets au prix d'une fraction du flux de neutrons, mais des incinérateurs dédiés peuvent être utilisés."*

Assurément l'irradiation de certains de ces radioéléments dans un réacteur optimisé pourrait réduire la radiotoxicité... sous réserve de ne pas créer un nouvel élément plus radiotoxique ! Assurément aussi l'Amplificateur d'Énergie dispose de neutrons « excédentaires » qui pourraient être utilement absorbés par les produits à éliminer.

Pour le technétium 99, la situation est claire : une simple capture neutronique amène au Tc_{100} qui se désintègre en ruthénium 100, élément stable. Quelques captures neutroniques supplémentaires peuvent cependant conduire à la formation de Ru_{101} ou même de Ru_{102} mais dans des proportions minimales. D'ailleurs ces deux isotopes du ruthénium sont eux aussi stables. Ceci a été validé par l'expérience TARC, décrite plus en détail au C.1.2.2 (page 261).

Encore faut-il s'arranger pour que la capture initiale conduisant du Tc_{99} au Tc_{100} soit fréquente. C. RUBBIA compte profiter des fortes résonances d'absorption en spectre neutronique épithermique (énergies de 1 eV à 1 keV environ). Il faut alors concevoir le système de façon qu'une portion suffisante du flux de neutrons parvienne à ces niveaux d'énergie par modération dans le liquide caloporteur. C. RUBBIA a présenté lors de l'audition un schéma de l'Amplificateur d'Énergie où apparaissent au-dessus et au-dessous du cœur deux zones dites *'lethargy-driven'* dans lesquelles les neutrons sont supposés se propager à des énergies épithermiques. Des assemblages contenant du Tc_{99}

placés dans ces zones seraient ainsi dans les conditions neutroniques les plus favorables pour subir la transmutation salvatrice. Ceci à deux conditions non négligeables :

- que le flux neutronique soit suffisamment intense pour que le gain permis par les sections efficaces élevées ne soit pas réduit à néant par une population neutronique trop faible ;
- que la convection naturelle nécessaire au refroidissement du coeur ne soit pas perturbée par ces nouveaux obstacles mécaniques.

Ces conditions sont-elles effectivement réalisées ? N'est-on pas en train de trop demander à la machine RUBBIA telle qu'elle est actuellement conçue ? Je ne saurais répondre à ce stade. D'ailleurs le sort des autres produits de fission à vie longue risque d'être passablement plus compliqué que celui de Tc_{99} . En effet l'iode est également présent sous la forme d'isotopes autres que I_{129} ; une incinération sélective de ce dernier élément exigerait d'aller plus loin que la simple séparation chimique et de pratiquer une séparation isotopique pour isoler précisément I_{129} . On voit déjà les difficultés de l'entreprise... De même pour le césium, qui est présent sous forme de Cs_{135} et Cs_{137} . De même pour le zirconium et l'étain.

Au fond, C. RUBBIA a eu une attitude tout à fait raisonnable en souhaitant établir un point de référence avec les cendres issues de la combustion du charbon. Cela fournit effectivement une comparaison pertinente avec un autre moyen de production d'énergie largement répandu. Cela ne nous dit pas évidemment s'il ne faudrait pas envisager de réglementer un jour lesdites cendres du fait d'une radiotoxicité jugée trop importante...

Reconnaissons cependant que la question se pose de façon quasiment identique pour le cycle de l'uranium.

De même, on doit également considérer non seulement la protection radiologique du public, qui — comme le clament à volonté les écologistes — fait intervenir des échelles de temps qui « dépassent l'imagination humaine », mais aussi la protection des travailleurs qui exploiteront le réacteur et surtout manipuleront, à chaque étape du cycle, les matières radioactives. Les choix de protection radiologique doivent découler d'un arbitrage éclairé entre les impératifs du présent et les potentialités d'un avenir lointain.

2.2.3 L'arbitrage entre protection radiologique du public et protection radiologique des travailleurs est peut-être moins évident qu'il n'y paraît

La production d'énergie nucléaire est fondée sur l'obligation faite aux polluants et autres matières toxiques de rester confinés dans l'installation, en isolement total vis-à-vis de la biosphère. On sait que ce concept est diversement battu en brèche aux divers stades du cycle : lors de l'extraction du minerai, lors de la fabrication du combustible, lors de la production elle-même, lors du retraitement et lors du stockage des déchets enfin. A chaque fois des effluents sont rejetés dans l'environnement, exposant potentiellement le public, et des travailleurs reçoivent des doses sous diverses formes (exposition externe, exposition interne).

L'équipe RUBBIA estime que l'Amplificateur d'Énergie apporte une réponse efficace aux difficultés qui se posent à chaque étape.

1. Au niveau de l'extraction du minerai, il est indiqué que la concentration de thorium dans les minerais connus jusqu'à présent serait en moyenne de l'ordre de 10%. Celle du minerai d'uranium est d'environ 0,2%. Comme le thorium utilisé dans l'Amplificateur d'Énergie peut donner jusqu'à 250 fois plus d'énergie que l'uranium, selon ses promoteurs, ceux-ci en déduisent que l'effort relatif d'extraction pour une quantité donnée d'énergie est réduit d'un facteur 50×250 soit 12 500 !

Comme en son temps pour le cycle U-Pu, la perspective d'un recyclage intégral des matières radioactives fait toujours des miracles...

"Un minerai de thorium pur duquel on aurait extrait la totalité du thorium produirait des résidus de radiotoxicité négligeable après 60 ans, puisque tous les descendants de Th_{232} ont des durées de décroissance courtes. Leur évolution est gouvernée par le Ra_{228} , qui a une durée de demi-vie de 5,7 ans. De plus il n'y aurait pas de risque associé au radon puisque le Rn_{220} a une durée de demi-vie de 55,6 secondes et qu'il a disparu par décroissance radioactive avant de s'échapper du minerai."

En fait, bien entendu, cette situation idéale doit être tempérée par la présence éventuelle d'impuretés dans le minerai réellement extrait. C. RUBBIA cite une étude conduite par S. MENARD et J.P. SCHAPIRA, qui montre que l'on doit tenir compte de l'impact de l'uranium, qui peut être présent jusqu'à hauteur de 10%. Dans ces conditions, l'impact radiologique des mines de thorium serait 2500 fois plus faible que celui ces mines d'uranium, pour une même quantité d'énergie produite — et en comparant toujours un cycle Th-U complètement fermé et un cycle U-Pu complètement ouvert. L'équipe RUBBIA utilise ensuite les estimations de dose collective donnée par l'UNSCEAR dans ses rapports pour conclure que *"les expositions typiques du public avec l'Amplificateur d'Énergie dues à l'extraction du minerai pour la même énergie produite sont bien plus faibles qu'avec les REP d'aujourd'hui ainsi qu'avec la combustion du charbon, même si les cendres solides sont correctement gérées."*

2. Pendant l'exploitation de l'Amplificateur d'Énergie, il faut tenir compte des produits de spallation. Certains d'entre eux peuvent être récupérés sur les circuits de purification du plomb, d'autres comme le mercure ou le thallium peuvent être condensés et gérés sous forme solide ou liquide, d'autres enfin restent gazeux et *"au vu de leur faible quantité, [les auteurs pensent] qu'ils peuvent être rejetés dans l'atmosphère."* Les effets sur la dose collective reçue par le public sont estimés à partir des tableaux donnés dans les rapports UNSCEAR ; il s'avère que la contribution principale est dominée par le tritium (10 000 fois supérieure à celle du radioélément suivant). Les produits de spallation non gazeux sont destinés au stockage géologique ; Hg_{124} est la principale source de radiotoxicité provenant de la spallation, dans l'intervalle [500, 2000] ans.

3. Le retraitement du combustible donne lieu lui aussi à des effluents. Les estimations de dose collective reçue par le public sont directement déduites des rapports UNSCEAR, sur le fondement de ce que les techniques étant pour la plupart similaires à celles déjà employées, il suffit de faire un règle de trois en fonction des proportions

respectives des divers radioéléments présents dans le combustible à l'uranium d'une part, pour lequel on dispose des statistiques, dans le combustible au thorium d'autre part, pour lequel on n'a que peu d'indications jusqu'ici.

Notons que cette façon de procéder fait l'impasse sur d'éventuelles différences avec les effluents produits par le biais du procédé pyrométallurgique, qui a aujourd'hui la faveur de C. RUBBIA. Il est vrai que l'on n'en sait pas encore beaucoup à ce sujet.

Une autre chose me chagrine vraiment. Dans son estimation de dose collective, C. RUBBIA indique que C_{14} et Kr_{85} sont extraits pendant les opérations de retraitement et envoyés dans un entreposage provisoire pour décroissance. C. RUBBIA mentionne la possibilité d'utiliser un procédé cryogénique pour effectuer cette extraction sélective.

Il est vrai que C_{14} et Kr_{85} se présentent lors du retraitement sous forme gazeuse. Il est certainement vrai que procéder à une extraction cryogénique permettrait en théorie de les recueillir et de les isoler. Mais je vois mal comment, dans des conditions économiques acceptables, on pourrait envisager de les entreposer en les maintenant isolés de la biosphère pendant qu'ils sont actifs ⁽⁵³⁾. Je constate aussi avec quelque stupeur que ces deux éléments sont justement ceux qui, s'ils restaient sous forme gazeuse et s'ils étaient rejetés avec les autres dans la biosphère, donneraient la dose collective la plus importante, et de loin : 8,4 H.Sv.GW⁻¹.an⁻¹ au total contre 0,60 H.Sv.GW⁻¹.an⁻¹ seulement pour tous les autres radioéléments gazeux ! Ils sont indiqués en italiques dans le tableau ci-dessous.

Doses normalisées des effluents gazeux et liquides pendant le retraitement

	Masse (kg)	AE/REP	Dose collective (H.Sv.GW ⁻¹ .an ⁻¹)		Commentaires
			Gaz	Liquides	
H ₃	—	1,0	0,11	0,0012	pris égal au REP
<i>C₁₄</i>	0,0145	9,2	<i>(7,45)</i>	—	<i>piégé</i>
<i>Kr₈₅</i>	21,64	10,16	<i>(0,924)</i>	—	<i>piégé</i>
I ₁₂₉	27,28	1,722	0,430	—	pratiques standard
I ₁₃₁	0,2924	0,458	1,37.10 ⁻⁴	—	pratiques standard
Cs ₁₃₇	118,5	1,109	0,0188	1,22	pratiques standard
St ₉₀	74,76	1,578	—	0,205	pratiques standard
Ru ₁₀₆	1,147	0,074	—	0,207	pratiques standard
Totaux			0,60	1,63	

source : publication [CR-95], page 153

J'en viens à croire que l'extraction cryogénique n'est qu'une extraction « de circonstance », uniquement destinée à faire disparaître de la dose collective totale les deux éléments qui font près de 80% de sa valeur. Bien évidemment la comparaison avec la dose collective délivrée par les REP est alors plus flatteuse. Le procédé employé ici me semble flirter dangereusement avec la prestidigitation, qui, avouons le, est un procédé bien peu scientifique.

La synthèse de tous ces éléments conduit à estimer que *"la radioactivité totale absorbée par la population est inférieure d'un ordre de grandeur environ à celle qui*

⁵³ Rappelons que la durée de vie (en 1/e) du krypton 85 est de 15,5 ans tandis que celle du carbone 14 est de plus de 8000 ans.

découlerait de la même production d'énergie à partir du charbon, même dans le cas où les cendres sont correctement gérées." (54)

4. Bien peu de choses sont dites dans les publications de l'équipe RUBBIA sur les conditions de protection radiologique des travailleurs. Je note cependant que lors de l'audition du 21 novembre, J.P. SCHAPIRA indiquait que *"dans le cycle du thorium les impacts radiologiques à long terme sont plus faibles que ceux du cycle basé sur l'uranium, mais ceci a un prix avec l'augmentation, à technologie égale, des impacts à court terme supportés par les travailleurs et éventuellement le public. Je pense à la pollution du thorium séparé par d'autres isotopes du thorium, mais surtout à la présence d'isotopes dans l'uranium, que l'on est obligé de recycler dans cette économie fondée sur le thorium."*

J.P. SCHAPIRA ajoutait cependant que *"ceci n'est pas rédhibitoire à mon sens dans la mesure où aujourd'hui on dispose de technologies tout à fait nouvelles en termes de robotique."* C'est ainsi que les premières mesures à mettre en oeuvre concerneraient les mineurs (même si l'équipe RUBBIA met en avant la moindre nécessité d'extraction minière que dans le cas de l'uranium) puisque les minerais de thorium sont bien plus riches que ceux d'uranium.

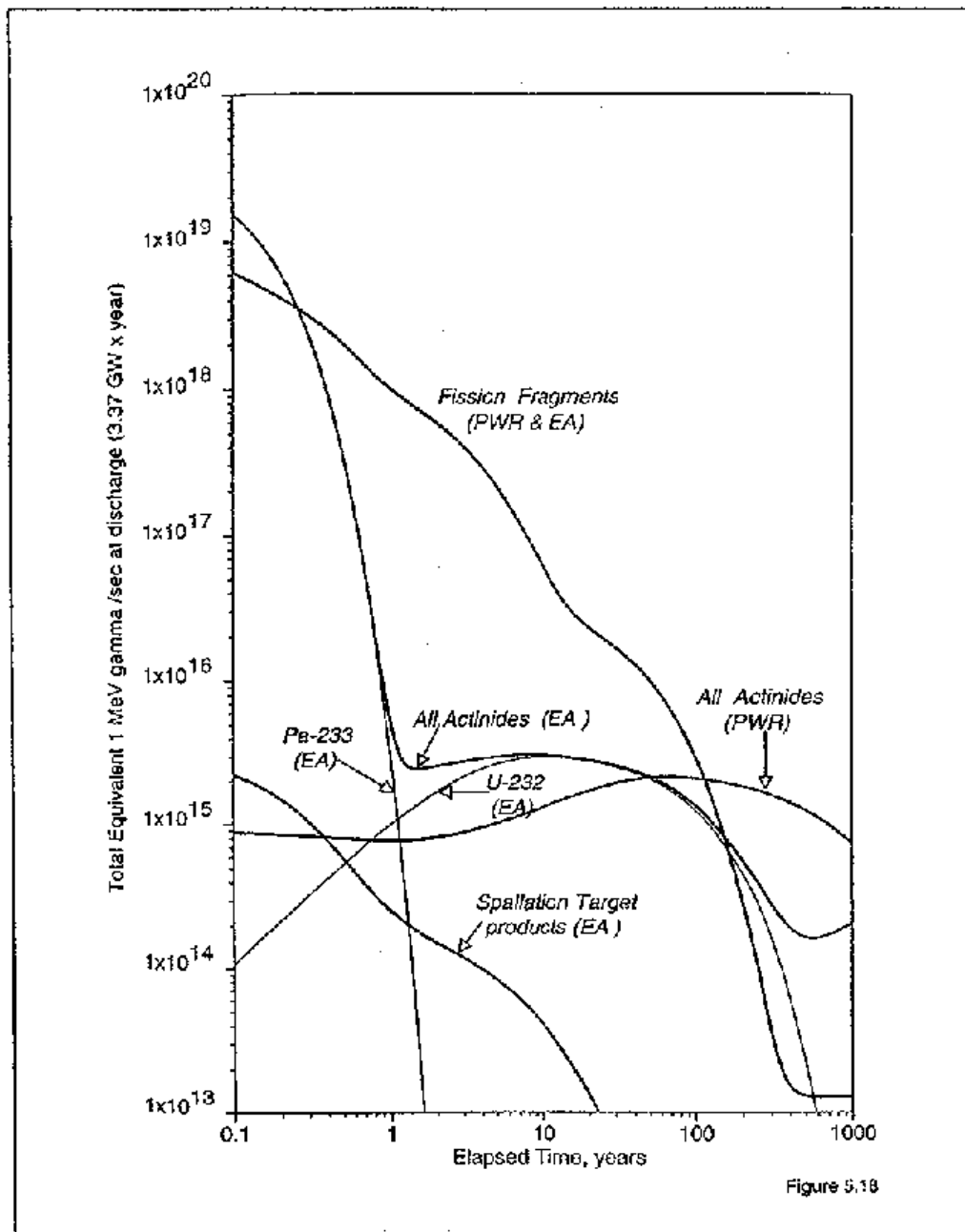
J.P. SCHAPIRA évoquait également la protection radiologique des travailleurs exposés lors de la fabrication du combustible et de son retraitement. La question est déjà posée aujourd'hui pour le retraitement des combustibles issus des réacteurs à neutrons rapides, et de façon générale des combustibles ayant subi de forts taux d'irradiation. La concentration élevée en produits de fission et éventuellement en actinides divers confère un caractère fortement irradiant à de tels combustibles. Rappelons que le traitement des combustibles de RAPSODIE ou de PHENIX à La Hague a nécessité, en l'absence de dispositions spécifiques de radioprotection, un mélange avec des combustibles UNGG à plus faible taux d'irradiation. En tout état de cause, une évaluation des conditions d'exposition des travailleurs repose sur une évaluation des doses γ délivrées par le combustible irradié en fin de cycle.

Des éléments très partiels peuvent être trouvés à partir de divers passages du chapitre 5 dans [CR-95] et de l'examen de la figure 5.18. Celle-ci trace la valeur estimée du rayonnement γ « équivalent 1 MeV » pour les produits de spallation, le combustible usé de l'Amplificateur d'Énergie et le combustible usé d'un REP enrichi à 3,3% et irradié à 33 000 MW.j.t⁻¹. La figure tend à montrer que les doses γ délivrées par les deux combustibles usés sont similaires. C'est d'ailleurs la conclusion qui en est tirée dans la publication [CR-95]. Ce résultat appelle de ma part deux remarques.

1. Les doses γ délivrées par le REP de référence sont *"normalisées à la même énergie électrique produite que dans l'Amplificateur d'Énergie"* ; l'Amplificateur d'Énergie fonctionne avec un taux de combustion de 110 GW.j.t⁻¹ tandis que le REP fonctionne avec 33 GW.j.t⁻¹. La normalisation revient à multiplier par 4 l'inventaire des radioéléments contenus dans le combustible issu du REP comme la dose γ délivrée par le REP. Je ne peux qu'approuver la méthode dès lors qu'il s'agit de comparer les

⁵⁴ Voir [CR-95], page 7.

détriments radiologiques globaux potentiels résultant de la mise en oeuvre de telle ou telle filière. L'évaluation doit en effet mettre en regard le détriment causé par la mise en oeuvre de l'énergie nucléaire et le bénéfice social offert par cette même énergie ; en la matière, le bénéfice social est bien la quantité d'électricité produite.



L'évaluation de l'impact radiologique en matière de doses individuelles reçues par les travailleurs reste cependant délicate. En effet, en situation réelle, c'est bien un combustible irradié à 110 GW.j.t^{-1} plutôt qu'un combustible irradié à 33 GW.j.t^{-1} qui sera manipulé par les opérateurs. Ramené à la même quantité d'énergie produite, il convient de dire que l'on doit comparer la manipulation d'un assemblage irradié à 110 GW.j.t^{-1} avec celle de quatre assemblages irradiés à 33 GW.j.t^{-1} . L'évaluation de l'impact individuel dépend donc de la combinaison de quatre facteurs :

- le nombre d'assemblages manipulés (pour une quantité d'énergie donnée) ;
- la dose délivrée « à la source » par un assemblage ;
- les paramètres dimensionnants pour la définition des mesures techniques de protection radiologique dans les installations nucléaires ; on sait d'expérience que l'exploitant de l'installation nucléaire concernée est amené à faire des efforts particuliers pour améliorer la radioprotection lorsqu'il a affaire à des matières particulièrement irradiantes (voir l'exemple de MELOX, lié à la mise en oeuvre d'un combustible au plutonium plus irradiant que le combustible uranium traditionnel) ;
- le nombre de travailleurs nécessaires pour effectuer les opérations voulues.

On conçoit que la tendance du résultat ne soit pas simple à déceler...

2. Je m'étonne un peu de ce que la courbe supérieure, indiquant semble-t-il la contribution des produits de fission, soit indiquée comme valable à la fois pour l'Amplificateur d'Énergie et pour le REP. En effet l'équipe RUBBIA indique dans le tableau 5.8 et dans le texte même de la publication que la composition des deux combustibles en produits de fission est très sensiblement différente. Ceci s'explique par le fait que les rendements de fission pour U_{233} et U_{235} sont différents et que les sections efficaces de capture dans le spectre thermique sont bien plus importantes que dans le spectre rapide pour les produits de fission ; ceux-ci sont donc mieux transmutés dans un réacteur à neutrons thermiques comme le REP.

D'autre part la deuxième colonne du tableau 5.8 indique le rapport, pour chaque produit de fission présent dans l'Amplificateur d'Énergie, des quantités produites dans l'Amplificateur d'Énergie et dans le REP, ramenées à une même énergie produite ; ces rapports sont très sensiblement différents de 1, dans un sens comme dans l'autre.

Il faut bien sûr, au-delà des simples proportions, considérer les radioéléments concernés, les énergies de leurs modes de rayonnement γ et les intensités respectives de ces rayonnements. Au total je suis cependant surpris que les deux courbes relatives à l'Amplificateur d'Énergie et au REP soient superposées de façon indiscernable dans la figure 5.18. Une des clefs réside peut-être dans la normalisation en rayonnement γ « équivalent 1 MeV ».

Dans les premières pages de [CR-95], la présentation générale du projet précise également qu'il a été vérifié que *"le combustible recyclé a une radioactivité significative. [...] [le débit de] dose au contact est similaire à celui des combustibles MOX faits d'uranium et de plutonium, déjà utilisés dans l'industrie nucléaire."*

Quoi qu'il en soit l'une des forces du projet RUBBIA réside dans le faible impact allégué pour l'aval du cycle. Même si le bilan radiologique global, impliquant à la fois les travailleurs et le public, n'est peut-être pas aussi favorable, il faut reconnaître que le grand public est à l'heure actuelle plus sensible aux risques causés par les déchets qu'à ceux visés à l'amont du cycle et peut-être même aux expositions résultant du fonctionnement quotidien des installations.

Sa qualité potentielle dans l'aval du cycle ⁽⁵⁵⁾ comme son positionnement rendent donc le projet RUBBIA particulièrement pertinent au regard de l'acceptabilité du public, paramètre majeur du développement des programmes nucléaires aujourd'hui.

3. LES AUTRES QUALITES PRETEES AU REACTEUR RUBBIA SONT MOINS EVIDENTES

3.1 Un réacteur RUBBIA n'est ni plus ni moins proliférant que les autres concepts de réacteur

Dès les premiers écrits présentés par C. RUBBIA et son équipe, les difficultés pour utiliser un Amplificateur d'Énergie à des fins « impures » ont été mises en avant par les promoteurs du projet : *"le risque de prolifération est négligeable"* est-il écrit dans la publication fondatrice de novembre 1993 ; *"l'Amplificateur d'Énergie comme la fusion par confinement magnétique peuvent être protégés de façon efficace contre des détournements à des fins militaires"* réaffirme la brochure *The Energy Amplifier : a Description for the Non-Specialists* (janvier 1996).

En fait le projet RUBBIA présente peu de particularités par rapport aux filières classiques de réacteurs nucléaires, à l'exception de la filière CANDU qui est sournoisement proliférante sans que personne ne s'en émeuve beaucoup. Était-ce vraiment seulement pour se démarquer de l'Union soviétique que le régime communiste roumain avait choisi de s'équiper en réacteurs CANDUS à la centrale (inachevée) de Cernavoda ?

3.1.1 La protection contre la diversion des matières nucléaires repose sur des solutions classiques

Comme tout réacteur, le système proposé par C. RUBBIA suppose l'emploi d'une matière fissile. Dans le cas de l'Amplificateur d'Énergie cette matière est de l'uranium 233. Il se trouve que cet isotope de l'uranium est une excellente matière fissile : il a une masse critique faible, ce qui réduit les besoins en uranium pour fabriquer une arme et facilite la conception même de l'engin ; il a également peu de fissions spontanées, ce qui en fait un bon candidat pour fabriquer des armes « prédictibles ».

L'uranium 233 est considéré par tous les experts, y compris ceux de l'AIEA, comme étant directement utilisable pour faire une arme, et la catégorie recommandée au titre de la protection physique est la même que celle du plutonium.

Or le fonctionnement de la filière RUBBIA repose sur la production importante d' U_{233} qui a vocation à être l'unique matière fissile source d'énergie tandis que l' U_{235} et le Pu_{239} se partagent cette tâche dans le cycle U-Pu ⁽⁵⁶⁾. De plus le cycle du combustible prévoit l'extraction et la séparation de l'uranium lors du retraitement du combustible irradié pour être réutilisé dans un cycle ultérieur.

⁵⁵ Sous réserve, comme on l'a vu, du bon achèvement des importants développements technologiques en cours.

⁵⁶ Dans les pages 44 et suivantes de [CR-95], C. RUBBIA et son équipe montrent que le neptunium et le plutonium présents dans le combustible irradié de l'Amplificateur d'Énergie ne peuvent pas prétendre à être utilisés à des visées militaires. Cette démonstration est convaincante.

Par ailleurs, l'équipe RUBBIA a proposé dans d'autres publications de faire fonctionner un parc d'Amplificateurs d'Énergie en parallèle avec le parc actuel de REP (57). Les Amplificateurs d'Énergie serviraient à éliminer les stocks de plutonium militaire dont les pays nucléaires souhaitent apparemment se débarrasser depuis quelques années ; les Amplificateurs d'Énergie incinèreraient également les actinides provenant des REP. Parallèlement les REP seraient alimentés en matière fissile par la surgénération de Th_{232} en U_{233} dans les Amplificateurs d'Énergie. De façon assez paradoxale pour une filière qui se veut résolument non prolifératrice, ce schéma de parc mixte suppose ainsi que l'on mette en place un système de fabrication d' U_{233} et de retraitement du combustible qui génère un flux d'uranium fissile suffisamment « pur » pour être employé dans un réacteur critique comme le REP.

Je ne sais pas dans quelle mesure l' U_{233} ainsi isolé serait propice à la fabrication d'une arme nucléaire dite « de qualité militaire » ; je suis sûr en revanche qu'il serait parfaitement utilisable dans une arme rudimentaire. On se souvient qu'après de multiples dénégations, les gestionnaires de matières nucléaires ont fini par reconnaître il y a quelques années que le Pu extrait des combustibles commerciaux peut être utilisé pour fabriquer une bombe rudimentaire, malgré sa mauvaise qualité isotopique.

Il reste que, au niveau de la matière même, la protection repose justement sur le degré de dégradation isotopique de l'élément potentiellement détournable, grâce à des isotopes non fissiles ou des radioéléments « marqueurs » :

- dans sa composition asymptotique, l'uranium contenu dans le combustible est constitué de 0,093% d' U_{232} , 63,88% d' U_{233} , 24,12% d' U_{234} , 5,87% d' U_{235} , 6,01% d' U_{236} et 0,01% d' U_{238} , l'ensemble formant près de 14% de la masse totale du combustible irradié ; on constate que, si la proportion d' U_{233} est plutôt élevée, l'uranium est fortement « pollué » par ses isotopes non fissiles ;
- de plus l'uranium est fortement contaminé en thallium 208, puissant émetteur γ qui fait partie de la chaîne de filiation radioactive d' U_{232} ; dans la publication [CR-95], C. RUBBIA estime ainsi que *"le fort rayonnement γ des impuretés de Tl_{208} constitue un élément dissuasif efficace et un excellent moyen de dénaturer le combustible ; une nouvelle technique [devrait] être développée pour construire, assembler et manipuler l'arme, que nous pensons être fortement décourageante par elle-même au regard des autres moyens tendant à réaliser un tel objectif."*

Dans la note qu'il m'a remise à l'occasion de l'audition du 21 novembre, l'IPSN indiquait que *"une des caractéristiques des combustibles à l'uranium 233 est le niveau de rayonnement élevé dû à la présence d'uranium 232 et de ses descendants. Ce rayonnement présente un aspect favorable du point de vue de la protection physique en ce qu'il rend plus complexes la manipulation et le détournement de ce combustible."* L'IPSN rejoint ici les arguments et conclusions de C. RUBBIA ; il s'en écarte pourtant dans la suite du texte en précisant que *"a contrario, du point de vue de l'application des*

⁵⁷ Voir par exemple C. RUBBIA, S. BUONO, E. GONZALEZ, Y. KADI, J.A. RUBIO, *A Realistic Plutonium Elimination Scheme with Fast Energy Amplifiers and Thorium-Plutonium Fuel*, CERN/AT/95-53 (ET), décembre 1995 ou encore la publication [CR-95] à la page 15.

contrôles internationaux, les méthodes de mesure non destructives en seraient perturbées. Le rayonnement γ de l' U_{232} et de ses descendants peut noyer totalement l'émission γ de l' U_{233} , rendant inopérantes ou fort imprécises les mesures non destructives basées sur ce rayonnement. Ce dernier point pourrait poser un problème essentiellement au sein d'une usine de fabrication, où les mesures non destructives sont traditionnellement utilisées, alors que, dans une usine de retraitement, le niveau de rayonnement étant habituellement élevé, les mesures sont réalisées par analyses destructives."

Dans le déroulement même de l'audition, J.P. SCHAPIRA a pris en quelque sorte le contre-pied de cette déclaration en estimant au contraire que *"l'uranium 233 est beaucoup plus facile à contrôler — ses mouvements en particulier — en raison de la présence d'uranium 232. C'est un avantage technique par rapport au contrôle de la circulation de matières comme le plutonium."*

En fait les deux opinions ne se placent pas sur le même plan : l'IPSN se place dans l'optique d'une comptabilisation précise des matières sur les lieux de détournement possibles, où il faut donc distinguer les rayonnement des différentes matières ; J.P. SCHAPIRA se place dans l'optique d'une détection de la matière une fois détournée, où il est intéressant d'avoir un élément « marqueur » facilement détectable ; dans ce dernier cas, la détection d'un rayonnement γ d'uranium serait une forte présomption d'avoir mis la main sur un uranium 233 détourné.

L'utilisation d'uranium extrait d'un combustible ayant passé un cycle de fonctionnement complet dans le réacteur paraît en définitive assez difficile. Reste alors aux esprits malins la solution qui consiste à pratiquer de faibles irradiations des combustibles, donc à retirer rapidement les assemblages placés dans le coeur, à attendre la décroissance du protactinium en U_{233} et à envoyer ces assemblages au retraitement. Ceci nécessite d'accéder au combustible au cours du cycle de fonctionnement « théorique » du réacteur, calé sur la durée de 5 ans.

Il faut rappeler à cet égard que, comme les autres modèles de réacteurs rapides, le réacteur RUBBIA opère à la pression atmosphérique (ou tout au moins à faible pression). Il est donc possible de concevoir la partie supérieure de la cuve sur le modèle de celle de PHENIX ou SUPERPHENIX, en y plaçant un couple de bouchons tournants qui permettrait d'effectuer du chargement-déchargement en continu.

Notons ici que le choix d'un refroidissement par convection naturelle peut être considéré comme un facteur limitant la possibilité d'effectuer des manoeuvres sur le combustible pendant le fonctionnement du réacteur. La manoeuvre n'est peut-être pas impossible, en tout cas certainement plus délicate que sur les réacteurs refroidis par convection forcée.

Toujours est-il que, plutôt que sur cet argument encore approximatif, l'équipe RUBBIA préfère mettre l'accent sur la protection par des mesures d'organisation :

- la cuve serait "scellée" et l'accès aux appareils de manutention du combustible réservé à une équipe spéciale venant tous les 5 ans seulement ; C. RUBBIA retrouve ici l'intérêt de la convection naturelle qui évite d'avoir éventuellement

à interrompre le cycle normal de fonctionnement pour intervenir sur tel ou tel matériel actif défaillant (pompe...) :

— l'ensemble du cycle serait placé sous les contrôles institutionnels de l'AIEA.

Bien évidemment cette dernière proposition a été quelque peu malmenée lors de l'audition du 21 novembre. R. SENE par exemple émettait quelques doutes sur l'efficacité réelle des contrôles de l'AIEA sur les pays qui avaient une réelle volonté de se doter sinon d'une arme du moins des moyens leur permettant d'en obtenir. Mme SENE rappelait pour sa part que *"au moment où [l'Irak] a commencé sa prolifération, personne n'a réussi à faire d'inspection"* ; elle estimait que la lutte contre la prolifération est certainement politique mais ne dispense pas de s'interroger sur la politique de livraison de matériel civil éventuellement « détournable ».

Il est vrai que la prolifération ne passe pas seulement par le détournement de matières mais aussi par le détournement des équipements. A cet égard, le réacteur proposé par C. RUBBIA souffre d'un défaut majeur.

3.1.2 Certains éléments d'un réacteur RUBBIA peuvent être aisément détournés de leur vocation civile

C. RUBBIA lui-même a présenté ce défaut lors de l'audition : *"si on prend une position honnête vis-à-vis de ce problème, on se rend compte que c'est le neutron qui est l'objet proliférant. [...] Le véritable problème de la prolifération n'est pas tellement la question du combustible mais surtout celle d'un environnement neutronique déterminé par tout type de machine. [...] C'est le neutron lui-même qui représente le vrai problème."* Or le réacteur RUBBIA, et principalement son accélérateur couplé à la source de spallation, est d'abord une formidable machine à produire des neutrons...

Si vous avez une âme pure, vous mettez derrière la source de spallation un réacteur sous-critique (mais on peut quand même venir y prendre des matières « intéressantes »). Si vous avez une âme impure, vous placez derrière la source de spallation des dispositifs spécialisés dans la production de matière fissile de haute qualité. Il est également possible d'y produire du tritium.

On remarquera d'ailleurs que la Direction des Applications militaires du CEA participe aux côtés de l'IN2P3 à l'exploration de la physique de la spallation. Pareillement, certains projets (assurément un peu futuristes) de production de tritium pour les besoins de la défense aux États-Unis font appel à des accélérateurs. Le DoE a d'ailleurs annoncé tout récemment qu'il poursuivrait une approche double pour la mise au point des moyens de production, en explorant la voie des réacteurs et celle des accélérateurs. Le projet TRISPAL en France poursuit le même objectif.

Dans un article paru dans *La Recherche* en 1981 (58), A. GSPONER rappelait que c'est grâce à un accélérateur de particules que le plutonium a été produit pour la première fois à Berkeley en 1941. La première tentative de production de plutonium en

⁵⁸ A. GSPONER, « Les accélérateurs remplaceront-ils les surgénérateurs ? » in *La Recherche*, vol. 12, n°124, juillet-août 1981, pp. 866s.

grande quantité au moyen d'un accélérateur remonte au début des années 50, dans le cadre du projet (secret) *Material Testing Accelerator*, dû à un groupe de Berkeley. A. GSPONER indique qu'un prototype d'accélérateur fut essayé avec succès mais que le projet fut abandonné après la découverte de grands gisements d'uranium dans l'Ouest américain. Les réacteurs nucléaires devenaient des instruments plus faciles pour produire du plutonium à partir d'uranium.

Il est intéressant de remarquer que le système de garanties de l'AIEA ne couvre pas les installations de production de neutrons, hormis les réacteurs.

Je ne peux m'empêcher en fait de penser qu'une autre source importante de prolifération est, au-delà de la matière fissile ou de l'équipement à usage dual, la connaissance même de la science nucléaire. Il faut certes au pays « candidat » un certain niveau de développement technique pour arriver à transformer le savoir nucléaire de base en installation de production, mais il faut reconnaître que la politique de développement des échanges nucléaires est en elle-même porteuse de dérives à long terme.

Je ne peux qu'approuver la perspective ouverte le 21 novembre par C. RUBBIA à la fin de ces échanges animés relatifs à la prolifération : *"Il est certain qu'il n'est pas possible aujourd'hui de concevoir un nucléaire disponible dans n'importe quel pays et dans n'importe quelles conditions."* C'est reconnaître honnêtement que le projet de réacteur développé par son équipe ne possède pas de vertus intrinsèques significatives au regard de la non prolifération. Il y a là comme un bémol bienvenu aux appréciations plutôt optimistes qui ont pu jalonner certaines des publications de cette même équipe.

Il est possible qu'il en soit bientôt de même pour l'appréciation des qualités économiques de l'Amplificateur d'Énergie comme producteur d'énergie.

3.2 L'intérêt économique du réacteur RUBBIA repose sur des hypothèses encore fragiles

3.2.1 Les premières évaluations présentées par l'équipe RUBBIA sont positives

L'équipe RUBBIA, avec l'aide de compétences extérieures appelées pour la circonstance, a procédé à une évaluation sommaire des performances économiques potentielles d'un réacteur électrogène placé dans des conditions industrielles de fonctionnement. Cette évaluation conclut au caractère compétitif de l'énergie produite par l'Amplificateur d'Énergie.

Il est vrai que j'ai rarement vu le promoteur d'un projet affirmer que celui-ci n'est pas rentable !

Deux publications présentent les arguments et conclusions de l'équipe RUBBIA. En octobre 1995, la première est une ébauche extrêmement rustique⁽⁵⁹⁾ : une première section présente une analyse préliminaire des coûts de l'Amplificateur d'Énergie, une seconde section présente diverses considérations sur les *"avantages sociaux et politiques"*

⁵⁹ C. ROCHE, C. RUBBIA, *Some Preliminary Considerations on the Economical Issues of the Energy Amplifier*, CERN/AT/95-45 (ET), octobre 1995.

du recours à l'Amplificateur d'Énergie. Le texte met l'accent à plusieurs reprises sur les inévitables incertitudes affectant une évaluation à un stade aussi précoce du projet.

Pour le système accélérateur, les auteurs se déclarent confiants dans leurs estimations, sur la base de leur expérience professionnelle en la matière. Pour les parties conventionnelles, des croisements ont été effectués avec des documents de référence provenant du DoE américain et d'EDF.

Le coût d'un prototype de 1500 MW thermiques et 675 MW électriques (c'est-à-dire l'Amplificateur d'Énergie dans sa configuration industrielle) a été estimé à 500 M\$. Pour la construction de plusieurs exemplaires, les auteurs s'appuient sur les études EDF relatives à l'effet de palier et retiennent que le coût unitaire pour une série d'au moins 10 machines est 45% du coût du prototype, soit 225 M\$. Une centrale formée de 3 unités accompagnées d'un accélérateur de secours coûterait ainsi 750 M\$.

Les coûts d'exploitation ont été évalués pour cette centrale de 3 unités, produisant une puissance électrique de 2 GW. L'Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie de Grenoble a effectué une étude indépendante⁽⁶⁰⁾ qui, selon les auteurs, "confirme, en prenant en compte les incertitudes industrielles, que les calculs qui sont faits restent dans des limites raisonnables de confiance." Le coût annuel de fonctionnement de la centrale s'élèverait à 100 M\$, dont 20 M\$ pour les 300 employés, 65 M\$ pour les dépenses matérielles (combustible, consommables divers, maintenance) et 15 M\$ d'aléas et divers.

Le coût du kWh produit est évalué en établissant le tableau suivant, qui récapitule l'ensemble des dépenses de capital et leur traduction en dépenses annuelles, compte tenu d'une durée de vie estimée de 50 ans et d'un taux d'intérêt net de 6%.

Coûts d'une centrale « Amplificateurs d'Énergie » de 2 GWe

Catégorie de dépenses	Montant
Terrains, bâtiments, sûreté, radioprotection, etc.	800 M\$
Systèmes mécaniques (turbines, échangeurs de chaleur, etc.)	700 M\$
Systèmes électriques (câbles, transformateurs, etc.)	300 M\$
Dépenses générales	300 M\$
Total Systèmes conventionnels	1900 M\$
Total Amplificateurs (3 accélérateurs + 1 de secours)	750 M\$
Total des dépenses en capital	2650 M\$
Coût financier annuel	170 M\$
Coût d'exploitation annuel	100 M\$
Total des dépenses annuelles	270 M\$
Production annuelle	15000 GW.h
Coût unitaire du kWh	1,8 c.kWh ⁻¹

En normalisant les coûts à une centrale de 1100 MW de puissance électrique, les auteurs se comparent aux autres sources d'énergie (charbon, cycle combiné, nucléaire en France, Allemagne, États-Unis, etc.) et concluent que l'Amplificateur d'Énergie fournit une solution tout à fait compétitive. Cette solution est encore plus attractive si l'on prend en considération les avantages « externes » de l'Amplificateur d'Énergie, entre autres la réduction de la toxicité des déchets.

⁶⁰ D. FINON, P. MENANTEAU, *Évaluation économique de l'Amplificateur d'Énergie dans ses configurations à neutrons thermiques et à neutrons rapides*, IEPE, Grenoble, décembre 1994.

Le principal reproche que l'on peut faire à cette publication de 1995 est l'obscurité avec laquelle sont établis les chiffres avancés par les auteurs. La seconde publication est heureusement beaucoup plus élaborée ⁽⁶¹⁾, ce qui se traduit d'ailleurs par un volume plus conséquent et des développements plus détaillés. C'est également dans ce texte que l'on trouve des dessins et schémas relativement précis concernant certains éléments de l'Amplificateur d'Énergie, comme par exemple les échangeurs de chaleur, la conception de la jupe interne de cuve qui isole les flux de plomb montant et descendant ou encore la description fonctionnelle des circuits de préchauffage et vidange du plomb pour la cuve principale. Les auteurs parviennent à une évaluation du coût total d'investissement.

Coût total d'investissement direct pour l'Amplificateur d'Énergie

Système	Meilleure estimation	Estimation basse	Estimation haute
Système de production de chaleur	58,98	45,61	67,51
Boucles secondaires	59,55	45,89	72,21
Systèmes auxiliaires	7,69	6,15	9,23
Accélérateur	184,45	165,45	217,10
Équipements classiques	233,50	210,15	256,85
Assemblage et montage	37,88	30,30	45,45
Contrôle-commande	35,00	28,00	42,00
Génie civil et bâtiments	175,00	140,00	210,00
TOTAL	792,05	671,35	920,35

en M\$ valeur 1996

L'évaluation des coûts indirects nécessite plusieurs hypothèses : le choix du taux d'intérêt (deux variantes : 5% et 10%), la durée de construction et le calendrier des dépenses. Ces deux derniers paramètres ont été calés sur les valeurs couramment observées pour les REP, avec une variante de durée sur 5 et 7 ans. Les "autres coûts" recouvrent enfin les dépenses telles que les dépenses de conception et d'architecture industrielle, la surveillance des travaux, fournitures et chantiers, les dépenses administratives, etc.

En définitive les auteurs établissent des estimations du coût total d'investissement, dans le cas d'un prototype et dans le cas d'une construction de série.

Coût total d'investissement pour l'Amplificateur d'Énergie

Système	Meilleure estimation	Estimation basse	Estimation haute
PROTOTYPE			
Investissement direct	792,05	671,35	920,35
Investissement indirect et autres	400,06	330,80	470,69
Total (en M\$)	1192,11	1002,15	1391,04
UNITÉ DANS UNE SÉRIE			
Investissement direct	655,13	330,80	758,68
Investissement indirect et autres	285,89	235,19	336,74
Total (en M\$)	941,02	565,99	1095,42
Investissement total par kW installé (en \$ par kWe)			
Prototype	2003	1684	2338
Unité d'une série	1582	1324	1841

⁶¹ R. FERNANDEZ, P. MANDRILLON, C. RUBBIA, J.P. RUBIO, *A Preliminary Estimate of the Economic Impact of the Energy Amplifier*, CERN/LHC/96-01 (EET), février 1996.

L'appréciation des coûts relatifs au cycle du combustible repose sur l'utilisation de données extraites d'un rapport de l'AEN-OCDE, qui présente les coûts estimés du cycle pour l'an 2000 ⁽⁶²⁾. Pour leur application à l'Amplificateur d'Énergie, les auteurs procèdent avec la méthode suivante :

- un certain nombre de paramètres de base concernant le fonctionnement de l'Amplificateur d'Énergie sont fixés : puissances thermique et électrique, facteur de charge (90%), temps d'irradiation du combustible, taux de combustion, etc.
- un calendrier d'utilisation des matières est fixé, ainsi que des taux d'intérêt et d'actualisation.

Les auteurs concluent que la contribution du combustible au coût de l'énergie produite s'élève à 0,268 cents par kWh. Le chiffre est de 1,119 cents par kWh pour un REP. Deux éléments sont à noter :

- le coût retenu pour la fabrication du combustible est — et cela ne paraît pas illogique — le coût de fabrication du combustible MOX retenu par l'AEN dans son étude prospective ; je m'interroge sur la pertinence de cette simplification ; en effet le combustible de l'Amplificateur d'Énergie n'est pas seulement un « MOX spécial » à base de thorium et d'uranium, mais il contient également des actinides en concentration croissante avec le nombre de cycles de fonctionnement ; la présence de ces actinides ne nécessite-t-elle pas des dispositions spéciales, des investissements spéciaux ?
- le coût total du cycle pour l'Amplificateur d'Énergie est très dépendant justement du coût de fabrication, alors que pour les REP c'est plutôt le coût du retraitement qui semble être le critère le plus important.

Diverses estimations de sensibilité sont effectuées autour du coût calculé, ainsi qu'une comparaison de la façon dont évolue l'avantage financier de l'Amplificateur d'Énergie par rapport au REP, au niveau du coût du combustible, en fonction des variations du taux d'intérêt.

Les coûts d'exploitation et de maintenance sont déduits de l'expérience générale du nucléaire ou des accélérateurs. Un chiffre de 30 M\$ par an est avancé.

Un paramètre essentiel pour évaluer le coût de l'énergie produite par l'Amplificateur d'Énergie est la durée de vie utile de l'installation. En supposant que la corrosion des structures est maîtrisée, que l'accélérateur de haute intensité a le même comportement que ses collègues actuels ⁽⁶³⁾, que les dommages d'irradiation causés à la cuve et aux structures restent minimes, et en prenant en compte le fait que les manipulations importantes ne se produisent qu'avec une périodicité de 5 ans ⁽⁶⁴⁾, "une

⁶² AEN-OCDE, *The Economics of the Nuclear Fuel Cycle*, Paris, 1994.

⁶³ Mais le projet prévoit un remplacement tous les 20 ans à titre conservatoire.

⁶⁴ Excepté le remplacement de la fenêtre qui doit être effectué tous les ans.

durée de vie de 50 ans pour l'Amplificateur d'Énergie est réaliste et pourrait même être plus longue. Par quelques calculs simples, on en déduit alors le coût du kWh.

Coût du kWh pour l'Amplificateur d'Énergie

Systeme	Meilleure estimation	Estimation basse	Estimation haute
PROTOTYPE			
Investissement	1,39	1,17	1,62
Exploitation et Maintenance	0,63	0,50	0,75
Combustible	0,27	0,24	0,29
Total	2,29	1,91	2,67
UNITÉ DANS UNE SÉRIE			
Investissement	1,10	0,92	1,28
Exploitation et Maintenance	0,63	0,50	0,75
Combustible	0,27	0,24	0,29
Total	1,99	1,66	2,33

en cents par kWh, pour un taux d'actualisation de 5%

Il est à noter que la proportion prise par le coût d'investissement (près de 60% du total) rend le coût du kWh très dépendant du taux d'actualisation choisi. On sait combien cette question du taux d'actualisation est sensible pour tous les opposants à l'énergie nucléaire, sans d'ailleurs que leur discours soit toujours très clair à ce sujet. Le coût du kWh passe ainsi à près de 3 c.kWh⁻¹ pour le prototype et 2,5 c.kWh⁻¹ pour la machine de série lorsque le taux d'actualisation passe de 5% à 8% ; cette dernière valeur est celle normalement retenue en France pour les investissements des entreprises publiques.

Enfin les coûts augmentent d'environ 10% si la durée de vie de l'Amplificateur d'Énergie est ramenée de 50 à 30 ans.

Une comparaison est effectuée avec les autres moyens de production d'énergie, sur la base des données fournies par une étude conjointe de l'AEN-OCDE et de l'AIE sur les coûts estimés de l'énergie pour des centrales nucléaires, à charbon ou à gaz devant entrer en service commercial en l'an 2000 (65). Cette comparaison tend à montrer que le coût de l'électricité fournie par les centrales nucléaires futures est environ 1,9 fois plus élevé que celui du prototype de l'Amplificateur d'Énergie et plus de 2,1 fois celui d'un Amplificateur d'Énergie de série. Compte tenu de la compétitivité du nucléaire affichée dans le document de l'AIE et de l'AEN, l'avantage est encore légèrement supérieur vis-à-vis du charbon et du gaz.

Enfin les auteurs effectuent une comparaison non plus des coûts de production de l'électricité mais du coût de production de la chaleur. Cette dernière opération est justifiée, selon les termes des auteurs, par le fait que la qualité de vapeur fournie par l'Amplificateur d'Énergie est sensiblement identique à celle des centrales à gaz ou au charbon. Cette similitude est due aux températures élevées de fonctionnement. Dans ces conditions, le rapport en faveur de l'Amplificateur d'Énergie est encore plus favorable, oscillant entre 3 et 5 pour un taux d'actualisation de 5% et entre 2 et 3 pour un taux de 10%.

⁶⁵ AEN-OCDE, AIE, *Projected Costs of Generating Electricity - Update 1992*, Paris, 1993.

L'équipe rassemblée autour de C. RUBBIA insiste sur "la robustesse de [ses] estimations de coûts, en dépit de la relative nouveauté de la méthode. En fait les seuls éléments réellement novateurs sont le système de production de chaleur et l'accélérateur. Comme leur contribution relative au coût est modeste (environ 5% pour le système de production de chaleur et 10% pour l'accélérateur), même des variations importantes de leur coût produiraient des effets qui seraient généralement contenus à l'intérieur des barres d'incertitudes du coût total."

3.2.2 Le bilan économique global doit être replacé dans une perspective plus vaste

Il n'entre pas dans mes intentions de critiquer (au sens positif du terme) dans le détail les calculs et évaluations effectués pour le compte de l'équipe RUBBIA. Le rapport du Comité EURATOM consacre d'ailleurs une annexe complète à cette question, de laquelle il ressort que les coûts de l'Amplificateur d'Énergie ont été notablement sous-évalués par les promoteurs du projet.

D'après ce rapport, le coût total d'investissement d'une machine de série serait plutôt de 2100 M\$ (contre 940 M\$ estimés par l'équipe RUBBIA) et le coût du kW installé serait donc d'environ 3500 \$.kW⁻¹ (contre 1580 \$.kW⁻¹ estimés par l'équipe RUBBIA), soit un montant largement supérieur à celui d'une centrale accueillant 2 REP de série d'une puissance de 1000 à 1400 MW, qui est indiqué comme approximativement égal à 1700-1800 \$.kW⁻¹. Le débat promet d'être animé !

Je souhaite plus modestement souligner que les bases de conception du système ne sont peut-être pas aussi figées que ce qui est suggéré à la lecture des publications « économiques ». J'en veux pour preuve deux exemples simples :

- j'ai évoqué précédemment l'absence de système de contrôle permettant de garantir la maîtrise de la réactivité du coeur et de compenser les évolutions spontanées de réactivité du combustible, essentiellement après un arrêt ; je vois mal une autorité de sûreté agréer une telle machine en l'état, d'autant que suivant la valeur du coefficient de multiplication k retenue pour le fonctionnement normal, la question sera considérée comme plus ou moins critique ⁽⁶⁶⁾, k pouvant être finalement assez proche de 1 si l'on cumule les effets de réactivité Doppler et de décroissance du Pa₂₃₃ ; je remarque aussi que la procédure prônée par C. RUBBIA pour déterminer la réactivité du coeur paraîtra difficilement acceptable en l'espèce puisque l'on pourra difficilement prendre le risque d'injecter des neutrons (supplémentaires) dans un coeur quasi-critique ; faut-il alors rajouter ce système de compensation ? peut-on dans l'affirmative faire autrement qu'avec des barres de commande de facture classique ? cela impliquerait alors des pénétrations dans la cuve, un système de commande sophistiqué, des pièces mécaniques en mouvement dans le coeur, des études thermohydrauliques très poussées du fait de l'impact sur la convection naturelle, etc.

⁶⁶ Si je puis dire...

- le bilan énergétique de la machine peut être singulièrement dégradé si le coefficient de multiplication k n'est pas égal à 0,98 comme cela est souhaité par les concepteurs du projet ; or bien évidemment toute incertitude sur la maîtrise effective de la réactivité se traduirait immédiatement par une contrainte posée par l'autorité de sûreté sur le k moyen pendant le fonctionnement ; c'est ce qu'exprimait à mots à demi-couverts A.C. LACOSTE lors de l'audition du 21 novembre : *"je ne suis pas sûr que l'optimisation des performances de la machine soit la même suivant que l'on vise la production d'électricité ou le traitement des déchets"* ;

Par ailleurs une évaluation du coût de la filière RUBBIA nécessiterait une imputation précise des coûts de recherche et développement. Il est entendu que la R&D « basique » serait prise en charge par des fonds publics. En revanche, tout ce qui concerne l'optimisation du système — que ce soit pour l'aspect incinération des déchets ou l'aspect production d'énergie — obligera d'impliquer les industriels concernés, à divers stades du développement et dans des conditions qui feront bien sûr l'objet de négociations sévères. Lors de l'audition de l'Office parlementaire, G. MENJON, directeur des Études et Recherches d'EDF, rappelait que *"le prototype du Pr. RUBBIA représente un petit nombre de milliards de francs ; le développement d'une filière représente plusieurs dizaines de milliards de francs. La question est de savoir si la nation peut se le permettre dans le financement de sa recherche."* Je reconnais que l'on est encore assez loin de ce genre de considérations.

En résumé, je vois mal comment pratiquer des évaluations fiables sur les performances économiques d'une machine tant que les répercussions des principaux enjeux de sûreté n'ont pas été explorées un peu plus avant. Or il reste tout de même, autour du projet présenté par C. RUBBIA et son équipe, un certain nombre d'inconnues techniques importantes qui peuvent avoir un impact sensible.

C'est pourquoi il est difficile de répondre aujourd'hui à la question de savoir s'il est nécessaire et s'il est possible de construire rapidement une machine « pilote ».

C. L'OPPORTUNITE DE REALISER PROCHAINEMENT UNE MACHINE PILOTE

RESTE SUJETTE A CAUTION

1. L'EQUIPE RUBBIA JUGE FAISABLE LA CONSTRUCTION RAPIDE D'UN PILOTE

Il est assez frappant de constater que 3 ans seulement après avoir révélé au public ses idées, C. RUBBIA estime que les réflexions ont suffisamment mûri et les connaissances suffisamment progressé pour envisager sérieusement la construction prochaine d'une machine pilote d'environ 100 MW thermiques. Il est vrai que, sous l'impulsion d'une équipe dynamique, les progrès se sont accumulés à un rythme impressionnant.

1.1 C. RUBBIA a réussi à fédérer autour de lui de nombreuses énergies

1.1.1 L'équipe du CERN a su faire fructifier un environnement favorable

Lorsque C. RUBBIA quitte en 1993 ses fonctions de directeur général du CERN, il souhaite, selon C. GELES, se relancer dans des activités de recherche et apporter une contribution utile aux problèmes de nos sociétés actuelles. Cela motive son orientation vers la production d'énergie. La teneur des propos que C. RUBBIA a tenus lors de l'audition du 21 novembre confirme cette préoccupation première.

De plus il apparaissait à C. RUBBIA que les sujets liés à la production d'énergie étaient depuis trop longtemps laissés entre les mains des ingénieurs (hormis peut-être les recherches sur la fusion). Il était donc souhaitable de relancer la recherche énergétique sur des voies innovantes, en profitant des capacités intellectuelles du CERN dans un premier temps. C. RUBBIA a alors demandé au nouveau directeur général l'autorisation de monter une petite équipe, qui lui a naturellement été accordée. L'unité *Emerging Energy Technologies*, rattachée à la Division LHC, comprend une dizaine de personnes.

L'un des atouts de cette équipe est sa réactivité. Les collaborateurs de C. RUBBIA m'ont plusieurs fois fait valoir cet avantage, comparé à la lourdeur des grandes institutions de recherche. C'est ainsi par exemple que le projet, après s'être égaré en premier lieu sur les chemins tortueux d'un système hybride fondé sur le couplage d'un accélérateur et d'un REP « classique », s'est réorienté vers le système à neutrons rapides qui a été présenté dans les pages précédentes, sans d'ailleurs que la crédibilité de ses promoteurs ne soit entamée. Singulier pouvoir que celui de la renommée !

L'équipe RUBBIA a également pu profiter des capacités informatiques du CERN. Ces capacités ont été largement mises à contribution puisque les bases de conception du projet reposent sur la modélisation de nombreux phénomènes : spallation, transport des neutrons, comportement du milieu sous-critique, bilan quantitatif des espèces chimiques, etc. F. CARMINATI comme C. RUBBIA appartiennent d'ailleurs au *High Performance Computing and Networking Advisory Committee* placé auprès de la Commission européenne.

Par ailleurs, la liste de contributions annexée à la publication fondamentale de 1995 montre que l'équipe du CERN a su s'entourer de collaborations nombreuses. On y trouve en effet des personnes appartenant à des institutions aussi variées que l'Université de Milan (code FLUKA), l'IN2P3 (fin du cycle et questions de radiotoxicité), divers organismes espagnols (CIEMAT, Conseil de Sécurité nucléaire, Université polytechnique de Madrid, Institut Alphonse X) pour les questions de sûreté, de fin du cycle, de dommages neutroniques, le CCR (insertions de réactivité, prolifération), l'Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie (aspects économiques et industriels), etc.

C'est le signe que l'équipe de C. RUBBIA a su proposer un projet crédible et attractif. Elle entend aujourd'hui pousser les feux et passer à l'étape de la démonstration.

1.1.2 C. RUBBIA souhaite développer une machine pilote

D'après mes contacts avec l'équipe RUBBIA, il semble que l'idée de départ avait été de construire directement une machine de 1500 MW thermiques, c'est-à-dire de taille industrielle. Face à l'ampleur des inconnues techniques, les promoteurs du projet se seraient ensuite rabattus sur la construction d'une "petite machine", selon les termes employés par C. RUBBIA lors de l'audition de l'Office parlementaire. Le choix de la puissance (75 à 100 MW thermiques) serait justifié par la nécessité d'avoir un nombre de neutrons par proton incident représentatif des conditions réelles d'utilisation de la machine industrielle.

D'après la présentation qui en a été faite lors de l'audition de l'Office, la « petite machine » reprend la plupart des caractéristiques de la machine industrielle à quelques ajustements près :

- l'accélérateur fournirait un courant de protons de 10-20 mA pour une énergie de 200 MeV environ, soit une puissance dans le faisceau de 2 à 4 MW environ ;
- le gain énergétique serait de 40 (contre 120 pour la machine industrielle) ;
- la source de spallation — qui serait toujours du plomb liquide — serait séparée du liquide caloporteur par une paroi en acier, la circulation et le refroidissement du plomb-cible se faisant par convection naturelle ;
- les dimensions et proportions de la cuve seraient modifiées : un diamètre de 4 mètres pour une hauteur de 10 mètres (6 et 30 pour la machine industrielle) ;
- 5 tonnes de combustibles seraient présentes dans le coeur, irradiées avec une densité de puissance et une puissance spécifique égales au quart de celle de la machine industrielle.

Cette machine aurait vocation à démontrer : 1/ "toutes les caractéristiques de l'Amplificateur d'Énergie" (y compris le bon comportement de la cible, le refroidissement au plomb par circulation naturelle et les propriétés de sûreté passive) ; 2/ la possibilité d'exploiter convenablement une machine complète produisant de l'énergie et incinérant du plutonium ; 3/ la compétitivité vis-à-vis d'un REP ; 4/ la faisabilité des techniques de fabrication et de retraitement du combustible. Il s'agit donc d'un programme plutôt ambitieux.

1.1.3 Un calendrier volontariste pourrait trouver à se concrétiser en Espagne

Le calendrier proposé pour la construction d'une telle machine est volontariste, à l'image de la conduite du projet telle qu'elle a été menée jusqu'ici. C. RUBBIA estime que la construction d'une machine pilote peut être effectuée en 5 ans environ. Compte tenu de la taille limitée du circuit primaire, cette durée peut être tenue pour raisonnable.

Toute la question consiste à savoir quelle est la durée nécessaire pour que les hypothèses préalables soient levées. Dans une de leurs publications les plus

récentes⁽⁶⁷⁾, C. RUBBIA et J. RUBIO proposent une ébauche de calendrier où cette question n'est pas éludée : *"la phase de construction doit être précédée par une phase de R&D sur les composants critiques du projet et par une phase finale d'ingénierie détaillée. Parmi les sujets qui nécessitent de la R&D on doit mentionner (1) la corrosion par le plomb et (2) les modifications des cavités supraconductrices pour une exploitation avec $\beta \approx 1$. On estime que ces phases préliminaires devraient ajouter environ un an à la durée totale de construction."*

Par ailleurs la mise en service « industriel » du pilote s'effectuerait pendant un an à un an et demi. Cette durée serait utilisée à augmenter graduellement le courant de protons et le facteur de multiplication k jusqu'à arriver aux valeurs de conception $k = 0,95$ et puissance du faisceau = 30 mA×GeV. *"A ce stade il serait nécessaire de faire fonctionner l'Amplificateur d'Énergie le plus longtemps possible et à la puissance maximale possible, de façon à explorer le comportement [du combustible] à fort taux de combustion. Ainsi, vers le milieu de l'année 2003, des quantités importantes de chaleur de haute qualité seraient disponibles."*

Par ailleurs C. RUBBIA a estimé lors de l'audition du 21 novembre que 2 à 3 ans seraient nécessaires pour mettre au point l'accélérateur destiné à la machine pilote, pour un coût qu'il a évalué à environ 10 M\$. En fait, il est apparu lors de l'audition que l'équipe RUBBIA envisage un développement par étapes : conception et construction de l'accélérateur, puis étude de la fenêtre (*"si nous avions cette machine, nous pourrions commencer à travailler sur la fenêtre"*), puis étude *in situ* du réacteur. Quoiqu'il en soit de cette décomposition temporelle, il m'a été confirmé par plusieurs personnes, membres de l'équipe RUBBIA au CERN ou parties prenantes au projet dans le cadre de collaborations avec l'équipe RUBBIA, que l'horizon de construction du pilote de 75-100 MW est bien de l'ordre de 5 ans environ... si l'on commence les travaux immédiatement, cela va de soi.

"Trois ans, c'est le temps qu'il faut pour la construction de l'accélérateur et la mise au point de la fenêtre. Dans cette période de 3 ans on peut mettre au point la partie qui n'est pas strictement nucléaire", disait C. RUBBIA lors de l'audition. Il semblait suggérer par ailleurs que le temps nécessaire pour disposer de l'îlot nucléaire serait plutôt gouverné par les aspects juridiques, des autorisations étant évidemment indispensables pour construire une telle machine. Usant d'une heureuse formule, C. RUBBIA déclarait : *"le temps pour le juridique dominera le temps pour la technique."*

L'Espagne a manifesté son intérêt pour la construction d'une machine pilote, qui aurait vocation, indépendamment des objectifs à plus long terme poursuivis par C. RUBBIA et son équipe, à détruire le plutonium produit dans les 9 réacteurs espagnols actuellement en fonctionnement. C. RUBBIA a plaidé sa cause directement auprès de J.M. AZNAR, président du Conseil, qui semble avoir été réceptif aux arguments présentés.

⁶⁷ C. RUBBIA, J.A. RUBIO, *A Tentative Programme towards a Full Scale Energy Amplifier*, CEN/LHC/96-11 (BET), juillet 1996.

Dans l'état actuel de mes informations, le projet se ferait dans la région de Saragosse (Aragon), avec la participation de l'Université de Saragosse. Le gouvernement d'Aragon aurait dit son intérêt et son président aurait fait des déclarations à la presse dans ce sens. Les autorités ont offert un site précédemment prévu pour une centrale nucléaire classique mais inutilisé depuis le moratoire. Ce site accueille déjà une centrale à charbon et dispose donc d'un certain nombre d'infrastructures qui seront valorisées si le projet RUBBIA trouve à se faire. Cependant le contenu concret du projet reste encore assez flou :

- dans ses perspectives : alors que C. GELES m'a affirmé à plusieurs reprises que le projet espagnol consiste bien à construire le pilote de 75-100 MW, P.M. RETORTILLA, du CREA, m'a indiqué que le projet concernerait plutôt un "laboratoire" des technologies nécessaires à l'Amplificateur d'Énergie ; entre le laboratoire et le pilote il y a quand même une différence sensible !
- dans son organisation : il semblerait (mais personne n'en est tout à fait sûr) qu'une société holding se soit constituée (ou puisse être constituée bientôt), rassemblant des intérêts industriels ; le CREA, fédération patronale de l'Aragon, est effectivement intéressé au projet ; j'ai d'ailleurs été contacté par certains de ses représentants, qui souhaitaient avoir mon opinion après l'audition du 21 novembre dernier ;
- dans son financement : P.M. RETORTILLA m'a confirmé que les industriels sont prêts à financer le projet (pilote ou laboratoire ?) car le CREA estime qu'il s'agit d'une chance à saisir pour l'Aragon ; pour le reste l'obscurité prévaut encore, ce qui n'est pas surprenant puisque la mise au point n'est pas terminée.

C. RUBBIA m'a précisé que des études qualifiées d' "approfondies" ont été faites avec ENRESA, l'ANDRA espagnole, sur le cycle du combustible. Le résultat montre que *"l'on peut vraiment se passer du stockage géologique profond pour les déchets de l'Amplificateur d'Énergie"* : les éléments transuraniens ne représentent que 1% de la masse des déchets et sont extraits par le procédé de pyroélectrolyse, dont le rendement atteint "99,95%". Cinq Amplificateurs d'Énergie pour toute l'Espagne fonctionnant pendant 40 ans suffiraient à gérer son stock de plutonium. Par ailleurs il ne resterait que des produits de fission, dont la plupart seraient redevables d'un stockage de classe A, comme celui d'El Cabril. Seuls le césium et le strontium nécessiteraient un 'secular repository', avec une radioactivité négligeable au bout de 300-400 ans. *"Pour le coût du stockage géologique (7,7 Md\$), on peut construire les cinq Amplificateurs d'Énergie et toutes les autres installations. De plus tout ceci produira de l'énergie alors que le « trou » du stockage est totalement improductif. L'énergie contenue dans les transuraniens qui seront éliminés par les Amplificateurs d'Énergie représente près de 10% des besoins énergétiques du pays sur 40 ans. On ne peut pas la laisser gaspillée au fond d'un stockage géologique !"*

Concernant l'engagement des industriels à ses côtés, C. RUBBIA m'a déclaré *"il faut développer deux niches d'action : une niche de R&D, qui fonctionne d'ailleurs naturellement ; une niche industrielle, car il faut susciter les synergies industrielles pour déboucher sur une machine pratique. Le CERN a inventé Internet, qui a été développé*

par des industriels. Les deux niches devront coexister ; il faut commencer à réveiller les gens”.

Force est de constater que les travaux effectués au CERN ont commencé à remonter un réveil très sonore...

1.2 Des expériences préliminaires ont commencé à justifier la validité de certains concepts

1.2.1 L'expérience FEAT a montré la réalité de l'amplification d'énergie

Dès l'obtention des premiers résultats en matière de simulations informatiques, C. RUBBIA décide de se lancer dans des vérifications expérimentales relatives à des paramètres importants de son projet. La première étape consiste d'abord à tester la réalité du phénomène d'amplification d'énergie dans un réseau sous-critique d'assemblages combustibles : c'est l'expérience FEAT.

Le dispositif expérimental consiste en un réseau hexagonal de barres d'uranium naturel plongées dans de l'eau déminéralisée qui fait office de modérateur. Le réseau a été conçu et fabriqué par ENRESA et l'Université polytechnique de Madrid. L'ensemble est contenu dans une cuve en acier inoxydable d'environ 1,2 m de diamètre. Le faisceau de protons est celui de l'anneau PS (*Proton Synchrotron*) du CERN. Un espace « vide » (plus exactement de faible densité) réservé dans la cuve et le réseau permet au faisceau de protons de frapper la cible de spallation située au centre du réseau, faite d'uranium appauvri. Les protons arrivent sous forme de paquets de 10^9 particules, d'une durée de 100 ns ; l'intensité instantanée est donc d'environ 1 mA ; les protons ont une énergie ajustable entre 600 MeV et 2,75 GeV. Avec une puissance générée d'environ 1 W aucun système de refroidissement n'était bien sûr nécessaire.

Une calibration effectuée grâce à une source de neutrons fournie par le CEA a permis de vérifier la répartition exponentielle de la densité de neutrons dans le réseau sous-critique, en fonction de la distance à la source. La détermination expérimentale du facteur de multiplication k est cohérente avec la valeur fournie par les simulations de Monte Carlo (environ 0,9).

La détermination de la puissance générée dans le réseau a reposé sur la mesure de l'élévation de température de petits échantillons d'uranium, avec une précision de 0,3 mK ; le déplacement de ces échantillons dans tout le volume du système et l'intégration des mesures correspondantes a permis de déterminer le gain énergétique du dispositif. Par ailleurs une série de détecteurs de technologies diverses a été disposée dans le réseau, selon un maillage fin, pour mesurer le taux de fission, le coefficient de multiplication ainsi que pour effectuer une paramétrisation des perturbations apportées par les sondes thermométriques. Dans ces conditions, la détermination des taux de fission sur l'ensemble du dispositif a donné une autre voie de détermination du gain.

Les trois mesures (thermomètres, détecteurs « à feuille d'uranium » et compteurs électroniques) ont donné des valeurs de gain *en excellent accord*. Ces valeurs étaient elles-mêmes en excellent accord avec celle donnée par les calculs. Par ailleurs, comme

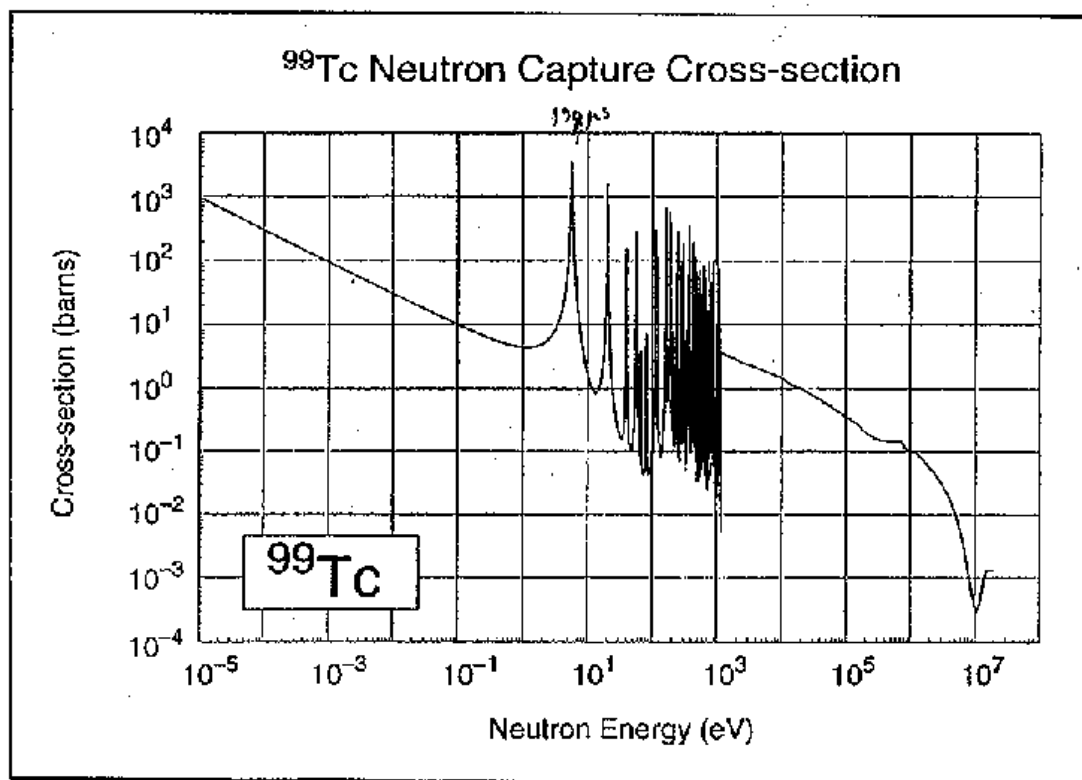
l'a indiqué C. RUBBIA lors de l'audition, le gain se sature lorsque l'énergie du faisceau atteint 1 GeV environ.

Proposé en décembre 1994, l'article présentant les résultats de FEAT a été publié dans *Physics Letters B* d'avril 1995. Mais à peine les acquis de FEAT engrangés, l'équipe RUBBIA a mis au point l'expérience TARC.

1.2.2 L'expérience TARC a permis de préciser des grandeurs neutroniques intéressantes

L'expérience TARC (*neutron driven Transmutation by Adiabatic Resonance Crossing*) avait vocation à vérifier les capacités d'un Amplificateur d'Énergie à incinérer dans de bonnes conditions certains produits de fission. C. RUBBIA est parti du constat qu'une transmutation efficace de ces produits de fission nécessite de trouver une bonne combinaison entre la section efficace de capture de l'élément à incinérer, la population neutronique disponible et l'économie neutronique générale du dispositif. Les expériences menées jusqu'ici se sont surtout intéressées à la transmutation par neutrons thermiques dans des réacteurs nucléaires. Cette voie est doublement pénalisante :

- la capture neutronique par les produits de fission conduit (par définition) à une absorption de neutrons, donc à une détérioration de l'équilibre neutronique subtil qui doit prévaloir dans des réacteurs critiques ;
- l'utilisation de neutrons thermiques (non plus d'ailleurs que celle des neutrons rapides) ne permet pas de profiter des résonances d'absorption observables dans le domaine des neutrons épithermiques (quelques eV à quelques keV).



Ces résonances d'absorption sont particulièrement intéressantes : par exemple, alors que la section efficace d'absorption du Tc^{99} dans le domaine thermique est de 20 barn, le pic de la résonance observée à 5 eV est de 4000 barn. Il y a là un moyen d'améliorer singulièrement la capacité d'incinération d'un système dédié.

Pour ce faire il convient grâce à un milieu adéquat de modérer progressivement les neutrons rapides de façon à les faire passer par les énergies de résonance. Le plomb et le bismuth sont des milieux parfaitement adaptés à cette fin : ils sont fortement transparents aux neutrons d'une part, les pertes d'énergie par chocs successifs contre les noyaux de plomb (ou de bismuth) sont très faibles d'autre part. Ces caractéristiques conjuguées impliquent qu'un flux de neutrons rapides dans du plomb va subsister suffisamment longtemps pour voir son énergie diminuer de façon quasi-continue, jusqu'aux énergies de résonance d'absorption.

La difficulté de l'opération vient justement de la complexité du comportement neutronique dans les domaines de résonance : masquage de résonances par d'autres, « parasitage » par les impuretés du milieu, prise en compte du comportement neutronique propre du milieu, effets de concurrence entre les divers phénomènes, etc. Cette complexité justifie le lancement d'une étude expérimentale, TARC, qui avait deux objectifs :

- vérifier la faisabilité de l'incinération : le comportement du Tc^{99} étant assez bien connu par ailleurs, il pourrait être utilisé pour « calibrer » le système et vérifier que les ordres de grandeur fondamentaux sont bien atteints (en particulier au regard des simulations informatiques) ;
- étudier le comportement neutronique du plomb (phénomènes de transport) dans la région des résonances : ceci permettrait de voir si le projet d'adjoindre une zone incinératrice au cœur sous-critique de l'Amplificateur d'Énergie est viable au plan physique ; la validation des codes de calcul utilisés pour la conception de l'Amplificateur d'Énergie est également recherchée.

L'expérience a été divisée en 6 « paquets », auxquels contribuaient les participants au projet (CERN, Université de Madrid et organismes espagnols associés, IN2P3, universités d'Athènes et de Thessalonique, etc.) :

- conception et construction d'un assemblage cylindrique de plomb de 335 tonnes, capable de contenir près de 80% des neutrons produits par la spallation (en l'absence d'impuretés) ; la pureté du plomb est un paramètre essentiel : en particulier la présence d'argent dans la proportion de 10 ppm (10 grammes par tonne) suffit à absorber 50% des neutrons avant qu'ils n'atteignent les énergies thermiques ; le faisceau du synchrotron PS a été utilisé 10 semaines en 1996 ;
- expérience sur les résonances : mesures de décroissance et mesures d'activation sur des éléments tests ;

- étude des propriétés neutroniques du plomb : détermination du spectre neutronique en fonction de la position par rapport à la cible de spallation, mesure de l'énergie déposée dans le plomb ;
- développement de méthodes de calcul adaptées pour l'étude des résonances : les méthodes classique par théories de groupes sont en effet inopérantes dans les régions de résonance ; la préférence doit être donnée à des méthodes de Monte Carlo, qui nécessitent cependant des temps de calcul plus longs ;
- étude conceptuelle d'un dispositif d'incinération, destiné à être utilisé ensuite dans le massif de plomb pour des mesures *in situ* ;
- autres applications de l'absorption par résonance : à titre accessoire, quelques expériences de fabrication de radioisotopes médicaux peuvent être tentées.

Les premiers résultats de TARC ont été présentés lors de l'audition de l'Office parlementaire. Ils ont montré que les propriétés attendues des résonances sont tout à fait vérifiées et que la transmutation du Tc^{99} est faisable de façon efficace. Les résultats sont encore en cours de dépouillement à l'heure où ce rapport est écrit.

Financée par l'Union européenne à hauteur de 1,11 M€ dans le budget du 4^{ème} Programme Cadre, TARC donnera lieu à un rapport final.

Est-ce à dire alors que la voie est toute tracée et qu'il faut se lancer aujourd'hui dans la construction d'une réplique en taille réduite de l'Amplificateur d'Énergie ? Force est de constater que les opinions sont assez divergentes à cet égard.

2. LA PLUPART DES ACTEURS ONT ADOPTÉ UNE ATTITUDE INTERESSÉE MAIS PRUDENTE

2.1 Certains observateurs sont circonspects sur les chances d'aboutir rapidement

Je ne pourrais pas retracer ici toutes les analyses ni tous les commentaires qui ont pu être émis sur le projet d'Amplificateur d'Énergie présenté par C. RUBBIA. Comment être certain de l'exhaustivité d'une telle démarche ? Je me contenterai de faire part des diverses réactions dont j'ai pu avoir connaissance. Je sais qu'une telle démarche n'est pas exempte de critiques, car elle peut introduire un biais dans le jugement du lecteur quant à la réception du projet RUBBIA par la communauté scientifique internationale. C'est pourtant la seule qui satisfasse à la fois à mon exigence de transparence et à la simplicité. En particulier de nombreuses personnes se sont manifestées pour exprimer des opinions critiques alors même que les objectifs et le contenu du projet RUBBIA rejoignent souvent les programmes de recherche de certaines institutions.

Le Pr. J. DEVOOGHT, du service de métrologie nucléaire à la Faculté des Sciences appliquées (Université libre de Bruxelles), a rédigé en juillet 1995 un mémoire critique sur le rapport SKN/CEN intitulé '*Technological Assessment of the Rubbia Proposal*', publié par cet institut en avril 1995. Le Pr. DEVOOGHT entend prendre le contre-pied d'une "*certaine dose d'optimisme qui me paraît injustifiée.*" Pris de court, je n'ai malheureusement pas pu prendre connaissance en direct du rapport établi par le

SKN/CEN, qui justement semblait formuler des appréciations positives sur le projet RUBBIA. En fait l'examen de la date de rédaction du rapport SKN/CEN et des critiques apportées par le Pr. DEVOOGHT⁽⁶⁸⁾ montrent que le rapport SKN/CEN porte sur la première version du projet RUBBIA, à savoir le système hybride fondé sur un réacteur REP. Dans ces conditions la chose la plus surprenante n'est pas que le SKN/CEN se soit attiré des critiques mais bien plutôt qu'il ait montré un certain "optimisme", car la validité du premier concept proposé par l'équipe RUBBIA était vraiment douteuse.

P. WYDLER, de l'Institut Paul Scherrer (Suisse), a consacré une annexe du rapport PSI 96-17 à *"l'Amplificateur d'Énergie, perspectives et problèmes"* (69). P. WYDLER met d'emblée l'accent sur les caractéristiques essentielles des centrales à fission : l'évacuation de la chaleur résiduelle du combustible doit être assurée, la radiotoxicité des produits de fission et des actinides contenus dans les éléments combustibles irradiés *"détermine en bonne partie les risques liés à l'exploitation de la centrale et ceux liés à l'entreposage à long terme des déchets radioactifs."*

Le texte examine point par point les principales caractéristiques du système RUBBIA, en pesant les avantages allégués et les inconvénients prévisibles des diverses options retenues. L'appréciation globale est assez balancée : P. WYDLER insiste sur les faibles connaissances disponibles pour certains des choix de conception (*"l'Amplificateur d'Énergie se distingue par la mise en oeuvre d'un grand nombre d'options peu courantes, qui n'ont jusqu'ici pas été utilisées à grande échelle dans la technique nucléaire"*) ; il relève que l'on est peut-être encore loin de la construction d'une machine (*"l'Amplificateur d'Énergie a de nombreux avantages mais aussi des inconvénients, et leur appréciation respective va demander encore un certain temps"* ; *"l'Amplificateur d'Énergie est au stade du concept ; pour l'amener au stade de l'installation commerciale, un vaste programme de R&D est nécessaire"* ; *"l'expérience dont on dispose avec les réacteurs conventionnels, particulièrement les réacteurs à neutrons rapides, laisse à penser que le développement va prendre beaucoup de temps"*).

Cependant la conclusion reste très ouverte : *"Après une longue période de stagnation, l'initiative de C. RUBBIA a apporté un nouveau souffle sur la scène nucléaire. Au vu de l'énorme potentiel énergétique de l'uranium et du thorium, il y a lieu de considérer cette initiative de manière positive, quitte à remettre certaines options en question."*

Lors de l'audition de l'Office parlementaire, P. BACHER, représentant la SFEN, a présenté une opinion extrêmement équilibrée. Il a tout d'abord exprimé sa satisfaction de voir émerger des idées « nouvelles » en matière d'énergie nucléaire car *"une industrie sans recherche est une industrie condamnée"*. Tout en exprimant quelques interrogations sur certaines des options retenues dans le cadre du projet RUBBIA, P. BACHER a indiqué que la démarche novatrice rencontre son adhésion : *"je suis également convaincu qu'il est nécessaire de revisiter périodiquement les choix qui ont été faits dans le passé, à la*

⁶⁸ En particulier le fait que le Pr. DEVOOGHT estime que *"on peut prendre comme référence les analyses de sûreté du réacteur de fission étant donné que globalement le circuit primaire et a fortiori le secondaire sont les mêmes et que la thermohydraulique n'est pas fondamentalement affectée."*

⁶⁹ Le texte traduit m'a été transmis par la SEDE, Société d'Étude de l'Environnement, Vevey (Suisse).

lumière des progrès des connaissances et des progrès technologiques. [...] on doit se poser des questions que l'on avait écartées à un certain moment."

Enfin, P. BACHER a précisé sa vision d'industriel pour ce qui concerne plus précisément le calendrier envisageable pour aller plus loin : entre la recherche et le prototype *"il y a ce que l'on appelle en matière d'ingénierie une étude de faisabilité, qui a pour objectif de s'assurer de la faisabilité technique des actions proposées et également de leurs perspectives économiques. Or cette étude de faisabilité ne peut se faire que lorsque le promoteur du projet a suffisamment figé un certain nombre d'options, pour que l'on puisse s'assurer que les bons compromis ont été faits entre tel et tel impératif. [...] Aujourd'hui [...] il appartient au promoteur du projet de dire s'il en est arrivé à un stade de réflexion suffisant pour qu'une telle étude de faisabilité soit entreprise ou si, au contraire, il est nécessaire de poursuivre un certain nombre de recherches sur l'accélérateur, ou la fenêtre, ou autre chose, pour qu'il y ait un concept cohérent sur lequel on puisse fonder une réflexion. Ce qui me paraît manquer dans ce débat est le fait de savoir où se situerait une telle étude de faisabilité et qui pourrait la faire."*

Dans une note qu'il m'a transmise à l'issue de l'audition publique, P. BACHER précise bien que cette étude de faisabilité doit se situer à un stade *"préalable à l'engagement d'un moyen lourd d'essai"*. C'est dire qu'il est sceptique sur la possibilité de construire prochainement la *"petite machine"* évoquée par C. RUBBIA lors de l'audition.

On ne peut pas parler de « scepticisme » de la part des grandes agences internationales que sont l'AIEA et l'AEN-OCDE. N'ayant pas de rôle directement opérationnel, elles ont simplement intégré l'existence du projet RUBBIA à leurs actions antérieures, sans pour autant porter un jugement d'opportunité sur les propositions de l'équipe du CERN.

2.2 Les agences internationales ont intégré le projet RUBBIA à leurs programmes

2.2.1 L'Agence pour l'Énergie nucléaire de l'OCDE organise la coopération internationale dans le domaine de la séparation-transmutation des déchets

Les activités de l'AEN dans le domaine de la séparation et de la transmutation des déchets radioactifs sont conduites par le Comité pour le Développement de l'Énergie nucléaire et le Comité des Sciences nucléaires. Les informations en résultant sont mises en commun avec le Comité pour la Gestion des Déchets radioactifs.

Les activités de l'AEN se développent dans deux directions : les réunions d'échange d'information et la collecte de données nucléaires. Les réunions d'information ont lieu depuis le début des années 90 :

- la première s'est tenue à Mito City (Japon) en novembre 1990 : les communications portaient à la fois sur les grandes orientations et sur des points scientifiques précis ; il a alors été convenu d'organiser des réunions restreintes de spécialistes sur des sujets appropriés, tels que les besoins en matière de

données fondamentales de physique et de chimie, la chimie des nouveaux procédés de séparation et l'ingénierie des accélérateurs ;

- une réunion de spécialistes s'est tenue à Mito City en novembre 1991, sur le thème des technologies de séparation ; une autre s'est tenue à l'Institut Paul Scherrer en mars 1992, sur la transmutation au moyen d'accélérateurs ; elle a donné lieu à un large débat sur les différents concepts en présence ainsi que sur les données acquises, les besoins en matière de données nucléaires et les modèles susceptibles d'être appliqués ;
- en novembre 1992, l'*Argonne National Laboratory* a accueilli la seconde réunion internationale d'échanges d'information, qui a mis en évidence la nécessité de comparer les différentes études systémiques entreprises ici ou là ;
- la troisième réunion a eu lieu à Cadarache en décembre 1994, principalement axée sur les études systémiques ; l'expérience FEAT a été présentée aux participants ;
- une dernière réunion s'est tenue au Japon en septembre 1996.

Il est à noter que les scientifiques se rencontrent également hors du cadre de l'AEN. A Saclay les VIII^{èmes} Journées SATURNE (décembre 1994), consacrées aux systèmes hybrides, ont donné l'occasion à C. RUBBIA lui-même d'exposer son projet d'Amplificateur d'Énergie. C. RUBBIA a également participé à la première réunion internationale organisée à Las Vegas en septembre 1994 (*International Conference on Accelerator-Driven Transmutation Technologies*). La deuxième conférence a eu lieu en juin 1996 à Kalmar (Suède), organisée par l'Université d'Uppsala. On voit ainsi que le projet RUBBIA et l'équipe du CERN ont en quelque sorte acquis droit de cité dans le microcosme nucléaire de la séparation-transmutation.

Le deuxième axe des travaux de l'AEN, la collecte de données nucléaires, ne voit pas d'implication particulière de l'équipe RUBBIA, celle-ci étant plutôt « consommatrice » de données nucléaires puisqu'il en est fait un usage intensif dans les simulations informatiques à la base du concept tel qu'il est actuellement formulé. De façon générale, la qualité des données nucléaires utilisées dans les simulations conditionne pour une large part la viabilité des certains jugements sur les capacités des réacteurs hybrides à remplir leur fonction. Cette qualité semble être encore notoirement insuffisante.

2.2.2 L'AIEA anime des actions de veille scientifique et de synthèse

J'ai contacté V. MOUGOROV, directeur général adjoint de l'AIEA et chef du Département de l'Énergie nucléaire, afin de connaître l'implication de l'Agence dans les systèmes hybrides en général et sur le projet RUBBIA en particulier. Les systèmes hybrides sont traités dans le cadre de deux programmes dont les actions se recoupent : le premier est consacré aux « Systèmes nucléaires émergents pour la production d'énergie et la transmutation », le second est consacré à la « Séparation et Transmutation des actinides et produits de fission ». Dans les actions concrètes de l'Agence, je noterai plus précisément les points suivants.

Un Programme scientifique spécial sur « l'utilisation d'accélérateurs de haute énergie pour la transmutation des actinides et la production d'électricité » a été organisé à Vienne en marge de la 38^{ème} Conférence générale, en septembre 1994. Ce programme avait pour but de présenter aux délégués à la Conférence générale les diverses options techniques relevant de ce sujet, et de discuter de leurs avantages et inconvénients ainsi que de leurs perspectives de viabilité technique et économique. Six experts ont été invités à présenter leur vision sur cette question, dont C. RUBBIA. D'après M. MOUGOROV, les présentations et les discussions qui ont suivi ont montré que *"les questions liées à l'utilisation d'accélérateurs de haute énergie pour la transmutation des actinides et la production d'électricité continuent d'être examinées par la communauté scientifique ; la faisabilité technique à grande échelle et les aspects économiques de la technique des systèmes hybrides ainsi que leur sûreté et leur impact environnemental doivent être évaluées plus avant ; les bénéfices possibles de cette nouvelle approche incitent clairement à soutenir des investigations complémentaires"*.

Un rapport de synthèse sur les systèmes hybrides est en cours de préparation, pour être publié dans la seconde moitié de 1997, suivant ainsi une recommandation des participants au programme scientifique spécial de 1994. Le but de ce rapport est d'évaluer le potentiel de ces systèmes pour la production d'électricité, l'élimination du plutonium et la transmutation des actinides mineurs et des produits de fission ; il a aussi pour objectif de fournir — en particulier pour les décideurs politiques et les autres parties qui ne sont pas directement impliquées dans leur développement — une vue générale des activités de recherche actuelles, des différents concepts en cours de développement et de leur degré d'avancement, ainsi que des tendances générales de la technique. Ce document reposera sur les contributions de 6 experts et de 2 organisations internationales ; le projet RUBBIA devrait y être décrit en détail.

En 1991 un rapport préliminaire intitulé *"un nouveau regard sur le cycle du thorium"* avait été mis en distribution à titre de document de travail ; un rapport de suivi a été lancé afin de présenter les derniers développements sur la question et d'indiquer les domaines où des progrès sont nécessaires. Le rapport devrait présenter une vue générale des concepts de cycle thorium qui ont été avancés ici ou là ainsi que des contributions détaillées. La publication du rapport final était prévue pour 1996 mais je ne sais pas ce qu'il en est advenu.

L'AIEA a lancé un Programme de Recherches Coordonnées couvrant la période 1994-1997, consacré aux « aspects de sûreté, d'environnement et de prolifération liés à la séparation et la transmutation des actinides mineurs et produits de fission ». Le programme vise à *"clarifier les objectifs et motivations de la séparation-transmutation et à obtenir une compréhension commune au niveau international des enjeux en matière de sûreté et de prolifération."* Les risques liés aux divers radioéléments seront étudiés afin de déterminer les éléments critiques qui devront être considérés dans la stratégie globale de séparation-transmutation ; il s'agira aussi de quantifier leur importance radiologique dans une analyse globale du cycle du combustible. Une liste de radioéléments « prioritaires » devrait être établie. Les implications des différents systèmes au regard de la non prolifération seront évaluées de façon à définir les schémas les plus prometteurs et efficaces à cet égard.

Un autre projet de Programme de Recherches Coordonnées envisagerait d'étudier les potentialités des combustibles au thorium pour la maîtrise du plutonium et la réduction de la toxicité à long terme des déchets.

Enfin l'AIEA prévoit d'organiser la réunion d'un comité technique sur « la faisabilité et la motivation des concepts de systèmes hybrides pour la production d'énergie et la transmutation » en septembre ou octobre 1997 ; des invitations seront adressées en juin aux États membres.

Dans sa lettre, M. MOUGOROV m'indique cependant que *"à notre sens, la continuité dans le développement de la technologie des réacteurs existants est la façon la plus réaliste et la plus économique de résoudre les questions de sûreté et d'environnement auxquelles doit faire face l'énergie nucléaire. Les nouveaux concepts de réacteurs avancés, thermiques ou rapides, comportant des caractéristiques de sûreté intrinsèque, amélioreront essentiellement la sûreté de l'énergie nucléaire. Les concepts avancés de cycle du combustible, avec un multirecyclage du plutonium et des actinides mineurs provenant des réacteurs à neutrons thermiques dans de nouveaux réacteurs rapides résoudront les principaux problèmes de la gestion du plutonium et des déchets. [...] Pour ce qui est des systèmes innovants comme les systèmes hybrides, la fusion ou les cycles utilisant le thorium, l'AIEA a pour objectif d'étudier leurs potentialités comme leurs inconvénients, à titre d' « assurance »."*

Ainsi l'AIEA n'envisage pas de soutenir concrètement le projet RUBBIA, comme aucun autre projet similaire. Ce n'est d'ailleurs pas sa vocation, alors que, au contraire, l'Union européenne finance des recherches en coopération dans le domaine de la sûreté nucléaire.

2.3 L'Union européenne pourrait contribuer au financement d'une prochaine étape du projet RUBBIA

J'ai déjà mentionné le fait que l'Union européenne a participé au financement de l'expérience TARC, à hauteur de 1,11 Mécus. L'écho fait aux propositions du Pr. RUBBIA a incité le directeur de la recherche énergétique (DG XII de la Commission), M. ANDRETA, à demander au Comité scientifique et technique de l'EURATOM d'évaluer le projet RUBBIA et de donner à la Commission un avis sur les prochaines étapes qu'il conviendrait d'envisager en relation avec ces propositions.

Le Comité scientifique et technique de l'EURATOM a chargé un groupe de travail d'étudier les documents de l'équipe RUBBIA. Ce groupe de travail était composé à partir d'un panel de pays rangés dans 3 catégories :

- les membres du Comité disposant d'une expérience professionnelle en matière de centrales nucléaires : M. COUDRAY (vice-président pour la recherche et la technologie, Framatome), E.G. GOMEZ (Iberdrola, Espagne), D. POOLEY (directeur général de l'UKAEA, président du groupe de travail) ;
- les membres du Comité issus de pays disposant d'une expérience nucléaire mais où l'opinion publique a nettement exprimé sa défaveur à l'encontre de

l'énergie nucléaire : L. HÖGBERG (directeur général du SKI, Suède), E. KNY (chef de la division de l'ingénierie, laboratoires de Seibersdorf, Autriche), G. PREVITI (président d'un consortium Ansaldo-Fiat) ;

- des membres cooptés : G. BRIANTI (CERN : expertise en matière d'accélérateurs), S. ION (directeur de la technologie, BNFL : expertise en matière de cycle du combustible et de retraitement), A. SCHAEFER (GRS : expertise en matière de sûreté), A. WALKER (chef de projet de la construction de Sizewell-B : expertise en matière de conception et de construction de centrales nucléaires).

Après avoir discuté de ses conclusions provisoires avec l'équipe RUBBIA en mai 1996, le groupe de travail les a présentées au Comité EURATOM, qui a remis son avis à la Commission le 25 septembre 1996. L'avis du Comité scientifique et technique d'EURATOM repousse à une perspective assez lointaine la réalisation d'une machine RUBBIA pleinement opérationnelle : *"le Comité scientifique et technique ne considère pas qu'il soit réaliste de poursuivre tout à la fois le développement du projet dans son ensemble. Ceci impliquerait de développer de nouvelles technologies pour presque tous les aspects de la production d'électricité : nouveaux réacteurs, nouveaux accélérateurs pour alimenter les réacteurs, nouveau combustible, nouveaux systèmes de fabrication et de retraitement du combustible, nouvelles dispositions en matière de déchets. Le Comité décèle des risques technologiques et financiers significatifs dans pratiquement tous les aspects des propositions [RUBBIA]. Bien que de tels risques soient courants dans les systèmes innovants, le Comité est fermement convaincu qu'il ne serait pas avisé de vouloir les assumer tous à la fois, avec l'objectif de développer directement un système compétitif de production d'électricité. Certains de ces risques pourraient bien s'avérer être « bloquants »."* Le Comité met également en avant le coût prévisible de développement d'une nouvelle filière, qui pourrait *"certainement s'élever à plusieurs dizaines de milliards d'Écus"*.

Par ailleurs le Comité scientifique et technique juge que le degré de sophistication et de complexité de l'Amplificateur d'Énergie sera plus important que ce qui est actuellement estimé par l'équipe RUBBIA. De plus la compétitivité avec la filière REP ne lui paraît pas du tout acquise, non plus qu'une meilleure acceptation du public

Néanmoins le Comité recommande que la Commission finance certains aspects qui lui paraissent intéressants dans une optique à long terme :

- la recherche sur des combustibles au thorium utilisables dans les REP actuels : ces combustibles permettraient de réduire les stocks de plutonium au prix d'une production d' U_{233} ; au plan physique, les combustibles au thorium peuvent atteindre des taux de combustion élevés mais la démonstration à l'échelle industrielle pourrait être longue ; les combustibles au thorium produisent moins d'actinides mineurs (dont l'américium et le curium) ; l'expérience considérable acquise en combustible oxyde pourrait être mise à profit ; les combustibles thorium pour réacteurs rapides devraient également être évalués ;

- la recherche sur les réacteurs sous-critiques : ces réacteurs devraient être clairement orientés vers l'incinération des actinides et non vers la production d'énergie ; *"le Comité scientifique et technique considère que le développement d'un milieu sous-critique piloté par accélérateur, de la taille d'un réacteur de recherche, destiné à l'incinération des actinides, est la meilleure façon d'approcher le fonctionnement réel d'un Amplificateur d'Énergie et d'identifier — et, espérons le, résoudre — les inévitables problèmes techniques qui ne manqueront pas de se poser avec un tel saut technologique, par exemple la tenue des matériaux et la corrosion"* ;
- la recherche sur l'utilisation du plomb comme liquide caloporteur : l'emploi du sodium permettrait de profiter de l'expérience importante disponible en Europe mais le plomb peut servir de cible de spallation et a un meilleur spectre neutronique pour l'incinération des actinides ; l'expérience *"considérable"* des Russes dans ce domaine pourrait être utile et devrait être valorisée.

Pour le Comité, les financements de la Commission sur les deux premiers sujets devraient être *"significatifs"* et plus modestes pour le dernier : l'« option russe » y fait certainement. Le Comité fait enfin une dernière recommandation, tendant à ce que la Commission s'assure que les recherches conduites dans le cadre ainsi tracé soient orientées de façon à permettre une évaluation de la faisabilité technique, de l'impact environnemental et de la viabilité économique du cycle du combustible tout entier.

Le Comité scientifique et technique détaille ensuite dans 5 annexes certaines considérations issues du groupe de travail : 1/ questions d'ingénierie ; 2/ cycle du combustible ; 3/ estimation sommaire des coûts d'investissement ; 4/ comparaison de la sûreté de l'Amplificateur d'Énergie avec celle des REP ; 5/ acceptation du public.

On voit que, malgré une position générale plutôt prudente vis-à-vis du projet RUBBIA complet tel qu'il est prôné par ses promoteurs, le Comité scientifique et technique de l'EURATOM ouvre la porte à une approche progressive et graduelle des différentes questions techniques soulevées par la mise au point de cette nouvelle filière.

Or si l'Europe décide de continuer dans les voies ouvertes par C. RUBBIA ou explorées par lui, il est clair que les acteurs français devront, tôt ou tard, se positionner et dire quels sont leurs choix.

3. LES ACTEURS FRANÇAIS DOIVENT COMBINER DE MULTIPLES ENJEUX STRATEGIQUES

3.1 Les efforts des organismes français sont rassemblés sous la bannière de GEDEON

Groupement de recherche créé en janvier 1996, GEDEON (Gestion des Déchets par Options nouvelles) fédère les actions entreprises par trois des organismes les plus concernés : le CEA, le CNRS et EDF.

3.1.1 Le CEA a enfanté ISAAC

Dès 1991, le CEA a mené (ou repris) des études sur les systèmes hybrides, le but étant à l'origine la compréhension des phénomènes physiques à la base de ces systèmes (physique de la transmutation, physique de la spallation). A partir de 1993 ces études ont été inscrites dans le cadre des travaux menés sur la transmutation des déchets radioactifs à vie longue (programme SPIN). Les études menées à la Direction des Réacteurs nucléaires ont fait l'objet d'actions coopératives avec les partenaires industriels habituels du CEA : EDF et Framatome, dans le cadre d'un comité de gestion intégré à l'accord tripartite relatif à l'aval du cycle.

En 1995 le programme ISAAC (Investigations sur les Systèmes sous-critiques Alimentés par Accélérateur) a été lancé. Ce programme est un partenariat entre les directions des Applications militaires, des Sciences de la Matière et des Réacteurs nucléaires, cette dernière jouant le rôle de pilote. Les développements qui suivent sont très largement inspirés d'une note que m'a fait parvenir M. SALVATORES, responsable des recherches sur les systèmes hybrides au CEA.

ISAAC comporte la proposition et la coordination des actions visant à la compréhension physique et à la validation expérimentale des systèmes sous-critiques alimentés par accélérateur dans les domaines suivants : physique des milieux multiplicateurs sous-critiques, physique et modélisation de la spallation, technologie de la cible et dommages aux matériaux, applications (en particulier à la transmutation des déchets radioactifs) et études « systèmes ». Pour ce qui concerne les accélérateurs de haute intensité, la vocation du programme ISAAC se limite à la définition d'un éventuel cahier des charges d'un accélérateur adapté à un système hybride de démonstration ou dédié à la transmutation des déchets.

Une première synthèse des travaux est prévue à la fin de l'année 1997. Plusieurs actions concrètes ont été lancées et des acquis sont déjà disponibles.

1. Sur la physique des milieux sous-critiques, plusieurs expériences ont été conduites. Le but de ces actions est d'abord la validation des données nucléaires et des outils de calcul utilisés pour l'évaluation des milieux sous-critiques, l'objectif étant de disposer d'un système de codes neutroniques validé pour 1999. Par ailleurs, la mesure de certains paramètres physiques en condition de sous-criticité (fraction des neutrons retardés, contrôle du niveau de réactivité, etc.) permet de mieux appréhender des paramètres essentiels liés au fonctionnement et à la sûreté des hybrides.

Un programme expérimental a été lancé sur le réacteur MASURCA (programme MUSE), et deux expériences représentatives ont été réalisées en 1995 et 1996. Les configurations réalisées ($k_{eff} \approx 0,97-0,98$) comportaient une source externe de Cf_{252} . L'expérience MUSE-3, prévue en 1997, comportera un générateur pulsé de neutrons de 14 MeV et un diffuseur de neutrons en plomb. Pour 1998, la réalisation d'une configuration comportant du thorium (environ 1 tonne sous forme d'oxyde) est à l'étude. De même que l'installation d'un accélérateur (en collaboration avec l'Institut des Sciences nucléaires de Grenoble) pour produire des neutrons de 14 MeV comme source externe.

Plusieurs techniques expérimentales originales sont développées (également en collaboration avec l'ISN de Grenoble). L'analyse de MUSE-1 a fait l'objet de publications et de présentations dans diverses conférences internationales.

Par ailleurs des travaux de mesure de sections efficaces de capture et de transmission (sur Np_{237} et Tc_{99}) sont entreprises sur l'accélérateur de Geel ; l'interprétation des résultats revient à une équipe commune DRN-DSM. Le programme en cours devrait se poursuivre au-delà de 1997. Des mesures préliminaires sont en cours auprès du réacteur à haut flux de l'Institut Laue-Langevin (Grenoble), qui concernent la mesure des sections efficaces de transmutation de l'américium dans un flux de neutrons thermiques.

2. Sur la physique de la spallation, un nouveau système de codes de simulation de la spallation, de traitement du transport des particules à haute énergie et de description de l'évolution des nucléides a été lancé en 1996 (code SPARTE). Ce projet, piloté par la DAM, qui assure la cohérence et le choix des modèles physiques, comporte une contribution de la DSM, en particulier sur le modèle de cascade, et de la DRN (code Monte Carlo TRIPOLI, traitement de l'évolution des dommages, interfaces avec les codes de neutronique, etc.). Le planning prévoit une version 0 à la fin de 1997, une version 1 à la fin de 1998 (avec cascade électromagnétique et transport de particules chargées), une version 2 (avec coupure hautes/basses énergies à 150 MeV) à la fin de 1999.

Par ailleurs un programme expérimental de validation et de recherches de données de base est en cours sur l'accélérateur SATURNE, dans le cadre d'une collaboration entre le CEA (DAM et DSM) et l'IN2P3, avec la participation de physiciens étrangers. Les études ont porté jusqu'à présent sur la production de neutrons (expériences sur des cibles minces). Des expériences sur cibles épaisses sont en cours ou programmées jusqu'à la fin de 1997.

Un autre volet du programme expérimental concerne la mesure de résidus de spallation (piloté par la DAM). Ces expériences seront aussi poursuivies jusqu'à la fin de 1997 et, au-delà, en Allemagne auprès de l'accélérateur de GSI. Pour des programmes éventuels au-delà de cette date (qui coïncide avec la fermeture de SATURNE), il faudra établir les besoins ultérieurs de validation de SPARTE et les installations auxquelles il serait possible de faire appel (cette réflexion est plus particulièrement menée dans le cadre de GEDEON).

3. Pour ce qui est de la technologie de la cible et des dommages causés aux matériaux, deux actions ont démarré à la fin de l'année 1996 :

- une collaboration entre la DAM, la DRN, la DSM et la DTA pour des propositions d'études expérimentales concernant les matériaux de la fenêtre, des structures de la cible (interface accélérateur-cible de spallation) et de la cible elle-même (par exemple : étude des effets d'irradiation et des problèmes de corrosion liés à l'utilisation éventuelle de Pb ou de Pb/Bi) ; ces études comporteraient aussi une collaboration avec l'Institut Paul Scherrer (Zürich) et l'utilisation des résultats fournis par l'ENTEK de Moscou sur la technologie du plomb, dans le cadre d'un contrat DRN-ENTEK ;

- une collaboration avec l'Institut de Physique et de Sécurité (IPPE) d'Obninsk, le *Los Alamos National Laboratory* et l'Institut royal des Technologies (RIT) de Stockholm, dans le cadre d'un projet CIST-Moscou ; cette collaboration aurait vocation à déboucher sur la réalisation d'une cible en Pb/Bi de 1 MWth par l'IPPE (1997-1999), qui serait irradiée ultérieurement dans le faisceau de protons de l'accélérateur linéaire de Los Alamos (1999-2000).

4. Les études systèmes recouvrent plusieurs actions. Les projets INCA (Incinération d'Actinides) développés à la DSM et la DRN visent à définir l'image de systèmes hybrides dédiés à l'incinération de l'américium et du curium, et éventuellement de certains produits de fission à vie longue, dans le cadre de la stratégie dite de la « double strate ». Les projets INCA visent également à étudier leurs caractéristiques physiques et les cycles du combustible associés. Des premières images ont été établies, pour des systèmes capables d'incinérer environ 1 tonne d'Am+Cm par an, dans des coeurs sous-critiques à spectre rapide et utilisant des combustibles solides ou à sels fondus ; des systèmes basés sur un spectre thermique sont aussi étudiés. Les mesures sur l'américium citées au point 1 sont effectuées dans ce contexte. Une synthèse est prévue à la fin de 1997.

Des études physiques « perspectives » sur le rôle potentiel des systèmes hybrides portent sur le cycle du thorium et, en général, son rôle dans les systèmes à très long temps d'irradiation. Plusieurs papiers ont été publiés dans des revues internationales.

Une étude spécifique au système RUBBIA s'est attachée à recalculer les caractéristiques neutroniques du réacteur, avec une évaluation de l'impact des incertitudes sur les performances nominales annoncées. Une deuxième étude a été consacrée à une analyse de sûreté simplifiée du même réacteur.

Une étude exploratoire a été également menée pour dégager des orientations sur une éventuelle installation expérimentale « pilote », qui comporterait un faisceau de protons d'environ 2 à 3 MW et un milieu sous-critique multiplicateur ($k \approx 0,95$) d'une puissance de 50 MW thermiques environ (concept HADRON). La décision de poursuivre ou non cette étude par une véritable étude de faisabilité (1997-1999) est attendue au début de l'année 1997.

On évalue à 34 hommes/an l'effectif des trois directions du CEA affecté en 1996 aux actions du programme ISAAC, selon la répartition suivante : 7 pour la physique des milieux multiplicateurs sous-critiques ; 20 pour la physique de la spallation ; 2 pour la technologie de la cible et les matériaux ; 5 pour les études systèmes. L'effort en 1997 devrait porter essentiellement sur les moyens affectés à la cible et à la physique des milieux sous-critiques. Le lancement éventuel d'une étude de faisabilité HADRON nécessiterait la mise en place d'une équipe d'environ 7 hommes/an pour une durée de 3 ans.

La DAM et la DSM s'engagent avec leurs moyens propres. En ce qui concerne les moyens affectés par la DRN, le financement se fait dans le cadre tripartite évoqué ci-dessus, sous forme d'actions coopératives. Plusieurs thèses ont été achevées ou sont en

cours à la DRN, dans des cadres divers (coopération avec l'Institut Paul Scherrer, cofinancement Framatome ou EDF, etc.).

3.1.2 A travers l'IN2P3, le CNRS s'est résolument engagé dans les recherches sur l'aval du cycle

En 1993 l'IN2P3 s'est interrogé sur son insertion dans les programmes de recherche demandés par la loi de 1991. Il avait décidé de rassembler ses efforts dans un programme appelé PRACEN (Programme de Recherches sur l'Aval du Cycle électronucléaire), orienté dans deux directions : 1/ les études de radiochimie, essentielles pour chacun des trois axes définis par la loi ; 2/ les études de physique nucléaire, essentiellement la transmutation, donc dans le cadre de l'axe 1 de la loi. Ce sont ces dernières études qui concernent plus directement les systèmes hybrides en général et le projet RUBBIA en particulier.

Tout récemment le CNRS a décidé de remplacer le programme PRACEN, action interne de l'IN2P3, par le programme PACE (Programme sur l'Aval du Cycle électronucléaire). Celui-ci a vocation à coordonner les actions du CNRS tout entier (c'est-à-dire les départements autres que l'IN2P3, susceptibles d'être concernés) dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue. C. DETRAZ, directeur de l'IN2P3, m'a fait parvenir une note décrivant en détail le fonctionnement du programme PACE, dont je reproduis ici l'essentiel.

PACE est organisé autour des groupements de recherche que le CNRS a constitués avec l'ANDRA, le CEA, la COGEMA, et EDF. Les projets de recherche sont élaborés dans les conseils scientifiques de ces groupements puis soumis à PACE. Instance interne du CNRS, celui-ci réalise la coordination budgétaire et l'arbitrage des demandes en provenance des groupements. Ces demandes, qui ont reçu l'aval scientifique des groupements de recherche, doivent concerner des travaux effectués par des équipes du CNRS séparément ou en collaboration avec des équipes d'autres organismes. Pour définir ses arbitrages à l'intérieur du budget qui lui a été assigné, PACE se maintient en relation étroite avec les conseils scientifiques des groupements de recherche.

Au-delà de ces groupements, PACE peut aussi soutenir des recherches relevant de la stratégie nationale définie par le COSRAC (Comité de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle) et menées en concertation avec des organismes externes au CNRS.

Dans le cadre du CNRS, PACE est un programme dit externe, c'est-à-dire interdépartemental. Comme l'ensemble des programmes externes du CNRS, PACE est placé sous la responsabilité d'un directeur de département ou d'institut. Au nom du CNRS, celui-ci supervise l'utilisation du budget PACE selon les décisions prises par le chef du programme, assisté d'un comité de programme. Le chef du programme est désigné par le comité de direction du CNRS. Le comité de programme est constitué de membres nommés par les départements concernés ; il comprend une majorité de membres issus du Comité national de la recherche scientifique.

Pour l'année 1997, les départements du CNRS participant à PACE sont le Département des Sciences chimiques (DSC), l'Institut national des Sciences de l'Univers (INSU) et l'IN2P3. Les groupements de recherche relevant de PACE sont :

- FORPRO : formations géologiques profondes ;
- GEDEON : gestion des déchets par des options nouvelles ;
- PRACTIS : physico-chimie des actinides et autres radioéléments en solutions et aux interfaces.

D'après J.P. SCHAPIRA, un quatrième groupement de recherche pourrait être constitué avec de nouveaux partenaires, sur les matériaux nécessaires au conditionnement des déchets. En matière de systèmes hybrides, c'est toutefois l'IN2P3 qui reste en première ligne, dans le cadre du groupement de recherche GEDEON.

C. DETRAZ m'indiquait dans un courrier du 4 mars 1997 que *"dans un contexte budgétaire difficile, la dotation de 5 MF HT que le CNRS a attribuée en 1997 à PACE représente un développement spécifique dont je souhaitais vous informer."*

Selon les indications données par J.P. SCHAPIRA lors de l'audition de l'Office parlementaire, une quinzaine de personnes seraient affectées à plein temps aux recherches conduites par l'IN2P3, seul ou en collaboration. L'un des derniers recrutements de maître de conférences effectués par l'Institut des Sciences nucléaires de Grenoble aurait été motivé par l'intérêt du CNRS pour les systèmes hybrides. Trois domaines sont explorés de façon privilégiée par l'IN2P3, avec tout d'abord, conformément à la vocation du CNRS, un certain nombre de recherches de base :

- les recherches sur la physique de la spallation : des expériences sont menées (en collaboration avec la Direction des Sciences de la Matière du CEA) sur l'accélérateur SATURNE à Saclay, destinées à mesurer les caractéristiques de spallation sur cibles minces (rendement de spallation, énergie des neutrons, distribution spatiale des impulsions...); de plus l'IN2P3 participe en Allemagne à des expériences visant à déterminer la nature des résidus de spallation ; on a vu l'importance de cette question, qui touche à la fois à la production de déchets par le système RUBBIA et à la pureté du liquide caloporteur, qui conditionne fortement la tenue des matériaux ;
- les recherches sur les données nucléaires : l'IN2P3 participe à un certain nombre d'expériences internationales sur diverses machines (comme par exemple au centre européen de Geel) pour l'acquisition de données nucléaires, indispensables pour paramétrer convenablement les codes de calcul.

Le deuxième domaine d'intervention de l'IN2P3 concerne l'exploration du cycle thorium. Ces travaux s'effectuent dans le cadre d'un programme européen, avec 7 partenaires dont le CEA.

Le troisième domaine correspond à toutes les études expérimentales relatives aux milieux sous-critiques, avec une étroite collaboration avec l'équipe du CERN. Trois

laboratoires de l'IN2P3 sont partie prenante à cette démarche : l'Institut de Physique nucléaire d'Orsay, le Centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan (dont un membre est détaché à plein temps au CERN dans l'équipe RUBBIA), l'Institut des Sciences nucléaires de Grenoble. Ce dernier établissement est le pilote côté CNRS de la collaboration avec C. RUBBIA. L'IN2P3 a apporté une contribution significative aux expériences FEAT et TARC. Il entame désormais une nouvelle étape avec le démarrage d'expériences sur la maquette MASURCA (Cadarache), en collaboration avec le CEA.

A ce domaine expérimental s'adjoint une réflexion globale sur les études systèmes, en relation avec les idées développées par C. RUBBIA. S'exprimant à l'audition du 21 novembre, J.M. LOISEAUX, pilote de la collaboration RUBBIA pour l'IN2P3, justifie l'implication de l'IN2P3 dans les études systèmes — qui sont *a priori* assez éloignées de ses compétences normales — par le fait que *"toutes les solutions ne sont pas figées dans le marbre ; il existe une certaine flexibilité, diverses solutions peuvent être envisagées. Il est intéressant d'avoir une certaine capacité à proposer différentes solutions."*

C'est bien la même optique qui prévaut pour l'implication d'EDF dans des recherches assez éloignées *a priori* de son métier d'électricien.

3.1.3 En finançant certaines recherches, EDF assume ses responsabilités de producteur de déchets nucléaires

La participation d'EDF au financement des recherches sur les systèmes hybrides s'inscrit naturellement dans la perspective de la gestion des déchets radioactifs plutôt que dans celle de la production d'électricité. Le concept de réacteur hybride de C. RUBBIA est analysé à EDF dans le cadre de l'axe 1 de la loi du 30 décembre 1991.

Les travaux d'EDF reposent principalement sur des collaborations avec les organismes de recherche spécialisés : le CEA (programme ISAAC) selon les dispositions prévues par l'accord tripartite EDF-CEA-Framatome ; le CNRS sous la forme de Contrats extérieurs de Recherche et Développement portant sur la modélisation physique de la cible et du réacteur associé. C'est dans ce dernier cadre que des financements ont été accordés au Groupe de Calcul Parallèle, placé au sein du Laboratoire de Physique corpusculaire de l'IN2P3, dont j'ai évoqué plus haut la teneur.

Dans la lettre qu'il m'a adressée en réponse à ma demande d'information, G. MENJON, directeur des Études et Recherches, m'a indiqué que *"EDF est intéressée par une synthèse des résultats de ces programmes dans l'objectif d'une évaluation : de leur potentiel en matière d'incinération des déchets ; de la faisabilité physique et technologique des différents systèmes ; de leur sûreté."*

On voit que les actions engagées par les trois partenaires de GEDEON n'ont rien de négligeable, et qu'ils auraient de solides arguments à faire valoir au cas où des liens plus formels devraient se nouer pour aller plus loin avec C. RUBBIA. Mais indépendamment des aspects purement scientifiques, le positionnement des deux principaux acteurs français ⁽⁷⁰⁾ vis-à-vis du projet RUBBIA relève aussi du jeu de rôle.

⁷⁰ J'espère qu'EDF ne m'en voudra pas de la placer ici en « deuxième rideau ».

3.2 Le positionnement face au projet RUBBIA relève aussi du jeu de rôle

3.2.1 L'IN2P3 se pose en « chevalier blanc » du nucléaire

L'audition de l'Office parlementaire a été l'occasion pour l'IN2P3 d'affirmer haut et fort sa volonté de participer pleinement aux évolutions en cours en matière de maîtrise des déchets radioactifs. C. DETRAZ, directeur de l'IN2P3, a plaidé en termes convaincants la légitimité d'une telle implication : *"le point fort c'est que l'électronucléaire aujourd'hui est à l'évidence un sujet de recherches. Par conséquent il est assez naturel que le CNRS se soit engagé au cours de ces dernières années au côté de ses partenaires. [...] Par la loi du 30 décembre 1991, la représentation nationale a dit : retrousses vos manches, il y a un problème de recherche devant nous, abordez-le."*

Pour autant le CNRS ne veut manifestement pas être cantonné dans un rôle de Professeur NIMBUS. J'en veux pour preuve son engagement dans les études systèmes, qui me paraissent dépasser quelque peu sa vocation naturelle, ou bien sa participation en collaboration avec le CEA aux expériences menées sur MASURCA sur des maquettes sous-critiques. Il y a là clairement la volonté de sortir du domaine traditionnel de l'Institut et d'explorer, d'acquérir, voire de conquérir de nouvelles compétences et quelques quartiers de noblesse.

L'Institut semble vouloir se positionner comme un acteur majeur, voire incontournable, de la recherche en énergie nucléaire dans les années à venir. Lorsque ses représentants réclament d'une seule voix une réelle collaboration entre les organismes intéressés — sans les nommer, mais nous comprenons tout de suite : le CEA — c'est bien qu'ils veulent pouvoir discuter sur un pied d'égalité avec leur partenaire. *"Cette émergence forte de la recherche [...] suppose la mise en place de véritables coordinations, d'une mise en cohérence de tout ce qui est fait. Rien ne serait plus malsain, alors que nous est posé un problème fort, [...] que chacun travaille de son côté, avec les moyens, les traditions, les cultures qui sont les siennes."* Et C. DETRAZ de préciser encore : *"Je pense en particulier que la représentation nationale doit veiller à ce qu'il s'agisse vraiment d'un effort national de recherche et qu'on se donne les moyens d'une grande efficacité dans ce domaine."*

Tour à tour J.P. SCHAPIRA et J.M. LOISEAUX se sont fait l'écho d'une même revendication. Le premier indiquait que *"nous ne considérons pas que les recherches que nous apportons dans ce domaine sont complémentaires des recherches qui seraient menées par le CEA, mais qu'elles doivent être menées en coopération. Nous demandons, en relation avec les recommandations de la Commission nationale d'Évaluation, que la programmation de ces recherches et leur déroulement soient faits en coopération."* Le second insistait aussi sur cet aspect de l'organisation des travaux : *"Nous avons l'ambition de participer à ce programme [d'expériences sur MASURCA] comme un acteur pouvant proposer des solutions, sinon différentes, en tout cas en collaboration étroite, avec la possibilité d'avoir une influence sur ce programme."* Ces propos rejoignent très directement les recommandations émises par la Commission nationale d'Évaluation dans ses deux premiers rapports annuels (juin 1995 et juin 1996).

Pourquoi cette volonté si forte de trouver une place dans les recherches qui s'amorcent ? Il n'est pas question ici de dénier la légitimité profonde d'une implication du CNRS dans un sujet où, à l'évidence, un certain nombre de questions fondamentales sont effectivement posées. Dans son intervention aux VIII^{èmes} Journées SATURNE, J.P. SCHAPIRA donne une partie de la réponse. Brossant un tableau historique de la recherche nucléaire depuis les origines, il estime que la réimplication des physiciens nucléaires dans les sujets d'énergie nucléaire est la conséquence de l'évolution des priorités politiques. Dans les années 50 l'effort devait être porté sur l'extraction du plutonium hors des combustibles irradiés, pour des besoins civils et militaires ; il en est résulté un formidable développement des réacteurs et des techniques de retraitement. Dans les années 80 les priorités sont désormais centrées sur les impacts sur l'environnement et la minimisation des déchets.

Parallèlement les années soixante voient la communauté nucléaire se scinder entre les physiciens du noyau, qui s'orientent de plus en plus vers l'étude des particules en tant que telles, et les physiciens des neutrons et de la physique des réacteurs, qui deviennent porteurs de savoirs autonomes. De même la radiochimie traditionnelle éclate en domaines plus étroits. La distinction se fait plus forte entre la recherche universitaire et académique et la recherche finalisée, concentrée dans des agences spécialisées à qui est confiée la tâche de développer les applications de l'énergie nucléaire.

Dans cette perspective, la collaboration autour des projets de systèmes hybrides serait l'occasion de resouder la grande famille des physiciens nucléaires. Mais je ne peux m'empêcher de penser qu'il y a aussi, derrière une réelle volonté de retrouver un peu l'esprit des pionniers, comme un petit goût d'ironie, comme un petit soupçon de revanche méritée. Dire que la définition de solutions techniquement faisables et socialement acceptables nécessite d'étendre l'expertise à des institutions qui ne sont pas directement concernées par la promotion de l'énergie nucléaire, dire qu'un regard extérieur pourrait apporter des contributions originales à des schémas qui ont échoué, dire que parce qu'ils ne sont pas engagés dans des programmes préétablis les physiciens nucléaires pourraient être plus ouverts à des solutions innovantes, n'est-ce pas aussi suggérer que l'énergie nucléaire est désormais une chose trop sérieuse pour être confiée aux seuls ingénieurs ?

En affirmant son rôle dans les travaux qui s'annoncent, le CNRS ne se contente pas de remplir sa mission d'organisme de recherche. Il entend aussi s'imposer comme le chef de file d'un élan nouveau et être capable d'indiquer les grandes orientations, voire d'infléchir le mouvement si besoin est. Avec la recherche nécessaire sur les déchets radioactifs, le monde de la physique nucléaire a peut-être trouvé un étendard glorieux. Il saura à coup sûr le valoriser, au moins pour demander le maintien en service de certains instruments de recherche.

C'est donc à un subtil équilibre que s'essaie l'IN2P3. Hormis sa légitimité globale, il n'a pas pour l'instant suffisamment d'atouts pour jouer pleinement le rôle qu'il souhaite assumer. C'est donc tout naturellement qu'il s'est associé au CEA, avec la DRN pour la partie système sous-critique, avec la DSM et la DAM pour l'étude de la spallation et bientôt peut-être pour la mise au point d'un accélérateur de haute intensité. C'est tout naturellement aussi qu'il a pu s'associer à l'équipe RUBBIA pour la réflexion

sur le concept d'Amplificateur d'Énergie et la réalisation de premières expériences. Cette double initiative a eu pour conséquence heureuse de garder la France impliquée dans les avancées, très rapides jusqu'ici, du projet RUBBLA ; elle a aussi contribué à maintenir une certaine pression sur le CEA pour que celui-ci ne fasse pas totalement cavalier seul.

C'est un peu à la même problématique qu'est confronté le CEA, douloureusement écartelé entre sa vocation d'innovation et son rôle de porteur de l'histoire nucléaire nationale.

3.2.2 *Le CEA hésite encore sur la stratégie à adopter*

Innover est l'une des missions fondamentales du CEA. A ce titre il a une quasi obligation morale de ne pas laisser vierge d'initiatives le créneau des systèmes hybrides. Il faillirait dans le cas contraire. Il faut cependant reconnaître qu'innover n'est pas la seule tendance susceptible d'orienter les décisions du CEA.

On lui a demandé tour à tour de se diversifier puis de se recentrer sur le nucléaire. On lui a demandé aussi de valoriser ses recherches, tout en supportant sa part de l'ajustement budgétaire. Certes la DAM a subi l'essentiel de l'effort, mais le CEA a été également obligé de se retourner vers les « sources externes » de financement comme les dividendes tirés ses filiales ou les financements partagés.

C'est dans ce contexte contraint que ce sont développés les programmes communs avec les industriels, forgés sur leurs besoins : soutien aux usines de La Hague, recherches conduites pour le compte d'EDF, coopérations avec Framatome, etc.

Aujourd'hui le monde nucléaire bruit de folles rumeurs : du côté de Genève une célébrité mondiale de la physique des particules aurait trouvé dit-on une nouvelle méthode pour produire de l'énergie à partir de la fission des noyaux. De cette aventure qui s'annonce le CEA est absent. Fortement critique au début (*"le CEA était un peu irrité de la publicité qui avait été donnée au premier projet de C. RUBBLA alors qu'il était véritablement irréaliste"* m'a déclaré B. BARRE, directeur des réacteurs nucléaires lors de notre entretien du 16 octobre 1996), le CEA a mis de l'eau dans son vin, tout en faisant remarquer que les idées de C. RUBBLA n'étaient pas nouvelles.

Réaction normale de grande dame outragée ? Crispation face à une opportunité réelle dont la paternité ne lui reviendrait pas ? Amertume de se faire doubler par des nouveaux venus alors que les recherches de la maison étaient entreprises depuis quelque temps déjà ? Il y a certainement de tout cela, mais une autre question se pose aussi. En fait le CEA sait-il encore faire rêver les décideurs avec une grande aventure nucléaire ?

Il est tout de même frappant de noter que le bouleversement des idées vient d'une équipe de novices en énergie nucléaire, certes conduite par un Prix Nobel. Il est tout de même troublant de voir que les premières réactions, plutôt négatives, se sont ensuite muées en une appréciation positive... du bout des lèvres⁽⁷¹⁾. Il est tout de même étonnant que des résultats expérimentaux si probants soient déjà obtenus à Genève alors

⁷¹ Les systèmes hybrides ? *"des machines élégantes"* affirme M. SALVATORES dans un entretien à *Technologies France* (novembre 1996). *Élégantes certes, mais seulement élégantes ?*

que les moyens du bord n'ont rien à voir avec ceux dont dispose le CEA entre ses centres de Saclay et de Cadarache, impliqués au premier chef.

J'ai la nette impression que le CEA est encore « bloqué » sur les choix relevant de PHENIX et SUPERPHENIX et qu'il a du mal à s'extraire de cette pesanteur historique. Le service de Physique des réacteurs et du cycle, à Cadarache, a mis au point au printemps 1996 un projet préliminaire de réacteur hybride expérimental. Il s'agissait de *"dégager l'image d'un système hybride de petite taille, qui permettrait de vérifier expérimentalement les caractéristiques typiques des systèmes hybrides, en particulier le couplage entre accélérateur, cible de spallation et milieu multiplicateur sous-critique"*. Ce projet correspond dans les faits à un RAPSODIE sous-critique : sodium pour fluide caloporteur, puissance de 20 à 40 MW, géométrie du coeur inspirée de RAPSODIE (avec les inévitables adaptations nécessitées par le caractère sous-critique du coeur), etc.

Peut-on sortir de RAPSODIE ? Il y a manifestement une conjugaison de facteurs défavorables au CEA :

- l'expérience malheureuse de SUPERPHENIX incite peut-être les responsables à la prudence ; je comprends tout à fait le mouvement naturel qui voudrait que, face à un projet qui soulève un grand nombre d'inconnues, on veuille se prémunir de certaines difficultés en se reposant sur des techniques plus largement explorées et employées ;
- une certaine inertie culturelle, combinée à la position dominante du CEA dans la recherche nucléaire en France, qui fait manifestement obstacle à une évolution rapide des mentalités et à une remise en cause radicale des options « historiques » en matière de réacteurs à neutrons rapides.

Il est vrai que l'engagement massif dans les options retenues par le réacteur RUBBIA pose un problème de positionnement stratégique. Que devient alors la légitimité de PHENIX et de SUPERPHENIX ? Si, comme on le répète à l'envi, le réacteur RUBBIA n'a de réelle niche possible que pour l'incinération des actinides, que devient alors le programme CAPRA d'une part, le Programme d'Acquisition de Connaissances de SUPERPHENIX d'autre part ? Je conçois que ces questions ne sont pas triviales et que les enjeux associés doivent être sérieusement pesés.

Mais la définition d'une stratégie de recherche ne peut se faire uniquement au regard des choix du passé. C'est même l'opportunité qui est offerte par cette rupture technologique possible qui doit motiver le fond des décisions — et qui au fond justifierait l'existence même du CEA.

Le CEA n'arrive toujours pas à s'abstraire de son rôle de « messie » national de l'énergie nucléaire. Heureusement pour lui, il a déjà été cloué sur la croix de SUPERPHENIX. *"Le CEA n'a pas droit à l'erreur"* me disait B. BARRE le 16 octobre. Je n'en suis pas si sûr : on n'a pas droit à l'erreur quand on refuse de prendre des risques. Quand au contraire on accepte les risques on peut faire accepter son échec éventuel. C'est peut-être parce qu'il a conscience qu'il ne peut plus porter tout seul un projet comme le projet RUBBIA que le CEA est resté comme immobile jusqu'ici. Ou peut-être

au contraire parce que ce grand établissement public de recherche pense être en position de force pour s'intégrer au projet au moment voulu, dans un contexte voulu et à des conditions précises. Lors des entretiens que j'ai eus avec divers responsables français — et pas uniquement du CEA — il m'a été dit à chaque fois que le CEA serait un passage quasi obligé pour les étapes suivantes du projet RUBBIA.

Il est vrai que celui-ci, quoi qu'il en dise, est plutôt demandeur : pour les capacités du CEA en matière de corrosion, pour les compétences accumulées en matière de neutronique rapide, pour l'expérience en construction et exploitation de réacteurs, pour la présence de la maquette rapide MASURCA, etc.

Le projet espagnol qui semble devoir se préciser de semaine en semaine ne devrait-il pas inciter à une plus grande réactivité ? Le monde bouge autour du CEA. Les Américains de Los Alamos ont abandonné les neutrons thermiques et le graphite au profit des neutrons rapides et du plomb fondu ; ils explorent sérieusement la piste russe et ont proposé un projet international ALLIANCE où leurs laboratoires nationaux se taillent les meilleures parts.

L'heure des choix est proche.

QUELLES PERSPECTIVES AUJOURD'HUI POUR LE PROJET RUBBIA ?

Disons-le d'emblée : je ne crois pas à la faisabilité à brève échéance (5-6 ans) d'un pilote qui démontrerait l'ensemble des caractéristiques de l'Amplificateur d'Énergie. Je crois que l'horizon proposé par C. RUBBIA est irréaliste compte tenu des inconnues qui subsistent aujourd'hui.

À la base du calendrier qui est présenté par l'équipe RUBBIA, il y a deux phénomènes qui se conjuguent. Tout d'abord une évidente volonté d'aller vite, dans la lignée du rythme de travail — et de succès — imposé jusqu'ici. C. RUBBIA souhaite manifestement pouvoir montrer à la face du monde une machine en complet état de marche ; ce serait le couronnement d'une carrière scientifique exceptionnelle.

Mais il y a aussi une dimension culturelle que l'on ne peut négliger. Cette dimension m'a été révélée peu à peu, au fil de mes investigations de cette année ; elle s'est manifestée de façon éclatante lors de l'audition de l'Office. *"Si l'on veut progresser il faut « faire »"* disait J.M. LOISEAUX ; *"la démarche du physicien a toujours été d'apprendre en faisant"* ; *"la démarche vers la démonstration de faisabilité ne peut pas se satisfaire d'un empilement de délais"* ajoutait-il également. C. GELES me disait pour sa part : *"certains parlent et écrivent, mais nous faisons du concret"*. La communauté des physiciens nucléaires souhaite conjuguer une démarche expérimentale et une démarche « analytique » ; cela me semble être caractéristique d'une mentalité largement partagée. *"Si vous voulez apprendre à nager il faut se jeter à l'eau"* m'a dit C. RUBBIA. Un minimum d'apprentissage me paraît nécessaire au préalable, mais cette réflexion s'inscrit tout à fait dans ce que Mme LANGEVIN appelait, citant J. PERRIN avec quelque à-propos, *"l'esprit d'audace"* si nécessaire au progrès.

Cependant Mme LANGEVIN notait aussi que l'esprit d'audace doit se combiner avec l'esprit de prudence. À ce titre, il y a peut-être chez les promoteurs du projet une perception atténuée des difficultés techniques auxquelles les concepteurs, constructeurs et exploitants du pilote seront confrontés s'ils décident d'aller de l'avant rapidement. *"Une manip du CERN est plus compliquée que la construction du pilote !"* m'a dit C. RUBBIA. Tout dépend en fait de l'objectif que l'on fixe au « pilote ».

"Être prudent cela ne signifie pas avoir le pied sur le frein tout le temps". D'accord avec Mme LANGEVIN, je pense aussi qu'il faut s'engager de façon volontaire et soutenue dans les voies explorées par C. RUBBIA. Cet engagement doit procéder d'une démarche progressive mais résolue.

1. De mes nombreux entretiens je retiens l'impression que la mise au point de l'accélérateur de haute intensité (1 à 10 mA) semble être faisable relativement vite, d'ici quelques années. Tout dépend bien entendu des moyens que l'on est disposé à mettre sur la table. Cet accélérateur peut bien sûr servir à piloter un Amplificateur d'Énergie ; il peut aussi servir à la mise au point d'une source puissante de neutrons de spallation. Indépendamment du succès ou de l'échec de l'Amplificateur d'Énergie, cette source de neutrons est potentiellement intéressante :

- elle peut servir à des irradiations de matériaux dans le cadre d'études technologiques ; n'oublions pas à cet égard que les possibilités de procéder à des irradiations en neutrons rapides sont limitées au-delà de l'an 2005-2010 en France par la « retraite » inévitable de PHENIX ; quoi qu'en disent certains, SUPERPHENIX n'est évidemment pas l'outil adéquat pour mener les irradiations « souples » dont on a besoin dans le domaine de la recherche ;
- elle peut servir à l'investigation neutronique des propriétés de la matière condensée ; C. RUBBIA me disait récemment que, en l'occurrence, l'Europe souffre d'un excès de sources synchrotrons et d'un défaut de sources de neutrons ; l'Union européenne soutient un projet de source de spallation (*European Spallation Source*) mais le programme serait un peu « lancinant » ; *"il manque une impulsion politique forte comme celle qui a présidé, dans le domaine du rayonnement synchrotron, à la construction de l'ESRF à Grenoble"* estime C. RUBBIA ;
- d'autres applications sont envisageables, comme la production en Europe de certains radioisotopes à usage médical, qui sont actuellement importés du Canada.

L'accélérateur de haute intensité a manifestement un créneau porteur hors même des développements nécessaires pour l'Amplificateur d'Énergie. La préférence de nombreux spécialistes va à un accélérateur linéaire, qui aurait plus de flexibilité qu'un cyclotron ; l'équipe RUBBIA reste favorable au cyclotron (au moins pour la machine pilote) ; je laisserai ici discuter les spécialistes.

2. En second lieu j'estime, avec nombre des personnes que j'ai rencontrées, que les travaux de recherche devraient dès aujourd'hui s'inscrire dans la perspective de la construction d'une machine expérimentale (dont je ne saurais déterminer ni la taille ni la puissance, mais qui ne devrait certainement pas dépasser une centaine de MW).

Il faudra cependant lever *au préalable* un certain nombre de « verrous » technologiques. Il me semble que l'on ne peut pas se lancer dans une machine pilote sans avoir éclairci un certain nombre de connaissances basiques sur la corrosion des matériaux de structure dans le plomb liquide, la composition et la structure de la fenêtre, la méthode de remplacement périodique de la fenêtre (qui ne me paraît pas triviale du tout...), la thermohydraulique du plomb liquide, la conception des échangeurs primaire-secondaire, etc. Il s'agit là d'expériences déjà significatives et « lourdes » ; il faudrait donc veiller à ce que les recherches ne se dispersent pas et que les efforts restent bien dirigés vers la résolution des problèmes concrets susceptibles de se produire dans la machine pilote.

Je ne me suis pas fait d'opinion sur un point assez délicat : faut-il chercher à tirer profit de l'acquis européen en matière de sodium comme fluide caloporteur ? il faudrait alors explorer la conception de cibles de spallation physiquement séparées du liquide primaire ; on pourrait en revanche capitaliser l'acquis en matière de conception mécanique des assemblages combustibles. Faut-il au contraire partir directement sur le plomb comme cible et fluide caloporteur à la fois ? on simplifierait *a priori* la conception

générale du système, au prix de travaux nécessairement plus poussés sur la corrosion par le plomb et ses aspects thermohydrauliques. Je manque aujourd'hui d'un « tableau comparatif » pondéré qui me permettrait d'avoir un jugement éclairé. Je note que C. RUBBIA lui-même a manifesté une ouverture certaine lors de l'audition. Preuve supplémentaire s'il en est que ces études préliminaires sont bien nécessaires...

Quelle que soit la technique retenue pour le fluide caloporteur et pour la cible de spallation, cette étape de validation expérimentale de certaines options essentielles du projet RUBBIA ne me paraît pas pouvoir être éludée. On ne peut pas risquer d'être bloqué par un problème physique ou technique mal étudié, qui remettrait en cause l'ensemble du projet.

3. C'est *ensuite* seulement qu'il serait possible de concevoir un pilote de façon détaillée et de le construire. A mon sens ce pilote ne peut être qu'une « machine rustique ». Il ne saurait être question à ce stade de prétendre démontrer l'ensemble des caractéristiques du réacteur RUBBIA tel qu'il est actuellement tracé sur le papier. D'ailleurs le choix du liquide caloporteur (plomb ou sodium) sera un paramètre déterminant pour certaines dispositions fondamentales de conception. Le pilote servirait à valider le couplage entre l'accélérateur et le réacteur, ainsi qu'à tester le fonctionnement du système dans son ensemble.

Je profite de l'occasion pour stigmatiser tous ceux qui prétendent qu'il est urgent de ne rien faire car il y aurait trop d'inconnues et trop de risques. Ne pas prendre de risques est le contraire même de la démarche scientifique. Il est facile de jouer les Cassandre et de prévoir l'échec d'un projet ambitieux, mais il est moins facile de prendre ses responsabilités et de faire des choix sereins.

A cet égard je tiens à faire remarquer que l'on n'a pas attendu d'avoir conçu N4 sur le papier pour se lancer dans le filière REP. D'ailleurs N4 n'aurait jamais pu être conçu sans les paliers précédents. Dans cette optique, le terme de « machine rustique » ne tend pas à montrer que le pilote ainsi conçu serait rudimentaire ; le mot vise seulement à rappeler que le pilote envisagé serait certainement loin de l'optimum idéal tel qu'il est décrit au plan théorique dans les travaux de l'équipe RUBBIA. Ce qui ne devrait pas pour autant l'empêcher de fonctionner.

Justement, les concepteurs et exploitants de la « machine rustique » auront suffisamment à faire avec *"les boulons, les vis et la façon de construire les choses"* ⁽⁷²⁾ pour éviter de s'embarrasser d'un nouveau saut technologique en matière de combustible. Il me paraît difficile d'échapper dans un premier temps à l'utilisation du cycle uranium-plutonium tel qu'il est pratiqué actuellement. Par rapport à l'Amplificateur d'Énergie, la « machine rustique » y perd évidemment en capacité nette d'incinération : le bilan des actinides est moins favorable qu'avec le cycle thorium-uranium.

La « machine rustique » aurait cependant la capacité de démontrer les possibilités d'élimination du plutonium excédentaire (combustible U appauvri-Pu similaire à celui des réacteurs rapides traditionnels) de même que des assemblages expérimentaux à teneur

⁷² Selon les termes employés par C. RUBBIA lors de l'audition, dans le cadre plus restreint de l'accélérateur de haute intensité.

élevée en actinides. Par ailleurs ce choix du cycle U-Pu dans un premier temps n'est pas incompatible avec le test d'assemblages combustibles Th-U, dans le cadre de la mise au point de ce dernier cycle.

Le projet espagnol trouve ici une justification, même si les évaluations qui ont pu être faites par l'équipe RUBBIA et ENRESA — et dont je n'ai pas eu connaissance dans le détail — peuvent être démenties au niveau du calendrier (nombre de passages nécessaires en réacteur) et des performances (efficacité du retraitement).

4. Parallèlement, et dès le début de l'étape 1, il serait souhaitable d'engager un programme de recherches conséquent sur la fabrication de combustible thorium et la validation de ses performances. Il est clair que ce programme ne saurait déboucher rapidement sur des réalisations à l'échelle industrielle. Pour cadrer totalement avec les perspectives scientifiques et techniques définies par le projet RUBBIA, il faudrait maîtriser toutes les étapes du cycle, depuis la fabrication du combustible ⁽⁷³⁾ jusqu'au retraitement et au conditionnement des déchets. Cela n'est certainement pas faisable à l'échéance de quelques années, même au prix d'un investissement public conséquent et prolongé.

L'équipe RUBBIA fait grand cas du procédé pyrométallurgique développé au Laboratoire national d'Argonne, qui implique par ailleurs la mise au point et la validation d'un combustible métallique. Il ne me semble pas que les performances alléguées soient réellement acquises ; en tout cas ce n'est pas le jeu de transparents fourni par C. GELES, sur une « présentation générale des techniques de l'*Integral Fast Reactor* » par les gens d'Argonne qui m'aura convaincu. Le procédé pyrométallurgique semble avoir effectivement la capacité de séparer efficacement les produits de fission des actinides mineurs, mais peu de choses sont indiquées sur la suite des opérations. Il faudra bien récupérer le Pu et les actinides accumulés sur l'électrode en cadmium d'une part, reconditionner les produits de fission déposés d'autre part. En attendant, l'utilisation d'un combustible oxyde et du procédé THOREX (sous réserve d'une validation plus poussée) permettrait déjà de faire quelques expériences sur le comportement à long terme du combustible.

5. Faut-il pour autant préconiser, comme le fait le rapport du Comité scientifique et technique de l'EURATOM, de développer le combustible thorium en priorité en visant son utilisation dans les REP actuels ? Il me semble que l'on trouve dans cette recommandation les limites de l'autonomie du Comité EURATOM. Il a manifestement voulu ménager le nucléaire européen actuel et éviter de déstabiliser les situations acquises. L'ampleur du parc installé le justifie. Cependant je ne pense pas que l'on puisse se limiter à étudier à titre résiduel seulement les combustibles thorium pour réacteurs rapides.

En effet j'ai désormais acquis la conviction que *la véritable maîtrise des déchets radioactifs ne pourra provenir que de ruptures scientifiques et technologiques profondes*. En ce sens je rejoins parfaitement les perspectives tracées par l'équipe RUBBIA : la filière doit former un tout, dont l'utilité n'est réelle que si elle est pleinement optimisée à

⁷³ La fabrication et la manipulation de combustible contenant une concentration importante d'actinides, voire de produits de fission, me paraît devoir nécessiter des développements non triviaux.

chaque stade : réacteur et cycle du combustible. Il me paraît illusoire de prétendre, même à long terme, maîtriser la production et l'élimination des déchets radioactifs dans le cadre des filières existantes. C'est pourquoi les efforts devraient tendre au premier chef à développer un combustible bien adapté aux besoins et caractéristiques de l'Amplificateur d'Énergie. L'utilisation d'une bonne matière fertile est un objectif légitime en soi, et l'on ne peut bloquer la voie à des recherches qui viseraient à en développer l'usage dans les REP « classiques ». J'estime cependant que ce serait se tromper de priorité. Le combustible thorium en REP ne devrait constituer qu'une voie secondaire de la recherche en ce domaine.

La difficulté vient donc de ce qu'il faudra se battre sur tous les fronts à la fois, au prix d'un investissement humain et financier considérable. Cela n'empêche pas bien sûr de se reposer sur la stratégie graduelle que j'ai évoquée ci-dessus.

L'ampleur de l'effort à consentir empêche toute velléité de faire cavalier seul. Personne n'a aujourd'hui les moyens de concevoir chez lui, dans son coin, sa propre machine. Pour les acteurs français cela signifie renforcer la capacité d'orientation et de décision de GEDEON. D'après ce que l'on m'en a dit, GEDEON n'est pas encore vraiment un programme de recherche coordonné mais un « salon » où l'on échange les informations que l'on a récoltées de son côté. Je ne sais pas quelle forme juridique conviendrait à un renforcement des liens entre les acteurs français impliqués. Il n'est pas sûr que la solution ne vienne pas plutôt d'une impulsion politique. D'ailleurs, si lesdits acteurs sont intimement convaincus de la nécessité d'aller de l'avant, la coopération se renforcera d'elle-même. Il me paraît cependant important que le Ministère de la Recherche joue un rôle central dans l'animation des programmes ; lui seul peut en effet exercer des arbitrages sur la base d'un jugement impartial.

Quoi qu'il en soit il faudra savoir partager : ses forces comme ses faiblesses. La poursuite des efforts ne se conçoit que dans un cadre européen. Le CERN n'a pas vocation à conduire des recherches axées sur la fission nucléaire ; il peut en revanche agir comme consultant en matière d'accélérateurs. Avec ses « projets communs », l'AEN-OCDE pourrait avoir un rôle, mais je ne sais pas si elle en a la volonté et les moyens. La société européenne, sur le modèle de NERSA, a montré ses limites ; on n'en est d'ailleurs pas encore au montage industriel. Les programmes communautaires semblent être une voie incontournable, au moins pour certaines recherches sur les « verrous » technologiques, à condition de ne pas en exclure l'Institut Paul Scherrer (Suisse), qui abrite le seul accélérateur d'intensité significative en Europe et dispose en la matière d'une expertise précieuse.

La grande inconnue du montage opérationnel qui sera retenu par les acteurs intéressés est la capacité de rester réactif et de savoir remettre en cause rapidement des options qui s'avéreraient bientôt impraticables. Le danger est de créer un « machin » de recherche qui s'autoalimenterait en études, contre-études, multi-expertises, etc. et s'aveuglerait progressivement. Je n'ai pas de réponse toute faite sur ce point.

On ne peut enfin manquer de se poser la question la plus gênante : pourquoi tous ces efforts si les perspectives d'aboutir à un système opérationnel sont repoussées à quelques lustres ? Ferons-nous encore du nucléaire à cette date ? L'investissement à consentir pour explorer les systèmes hybrides relève de ce que j'appellerais « l'investissement de casino » : on perd tout ou on gagne le *jackpot* ! Il me semble que, au regard de notre responsabilité, il est légitime d'essayer quelque chose. Le principal échec serait de renoncer avant d'avoir commencé.

C'est peut-être d'ailleurs pour cela que C. RUBBIA soutient de façon constante le concept d'un Amplificateur d'Énergie capable de produire de l'électricité à des coûts concurrentiels. Non pas qu'il veuille conjurer un destin de l'énergie nucléaire dont il sera, comme nous tous, le jouet. Plutôt en fait parce que le positionnement sur la production d'électricité lui permet justement de s'inscrire dans le long terme. S'ajoute aussi peut-être le désir de ne pas se trouver « absorbé » par tous les programmes et projets qui fleurissent un peu partout sur l'incinération des actinides dans les systèmes hybrides : il s'agirait ainsi d'être différent pour affirmer sa présence.

En définitive nous devons choisir entre deux gaspillages :

- un gaspillage éventuel, qui serait celui des sommes investies dans la recherche sur des systèmes hybrides qui s'avèreraient en fait impossibles à mettre au point à l'échelle industrielle ; nous aurions au moins, en tant que responsables scientifiques et politiques, la satisfaction d'avoir essayé d'explorer une voie prometteuse à l'origine mais impraticable après études ;
- un gaspillage certain, qui consisterait à éliminer prématurément C. RUBBIA de la scène nucléaire en rejetant son projet comme irréaliste, inutile, infaisable ; l'Europe a la chance de compter dans ses rangs une « locomotive » exceptionnelle : il faut capitaliser cette énergie ; les compétences nécessaires existent par ailleurs, qu'il convient de mobiliser.

Par leurs potentialités au regard de la maîtrise des déchets radioactifs, les systèmes hybrides s'inscrivent pleinement dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991. Il est nécessaire d'explorer avec détermination cette voie *a priori* prometteuse, tout en gardant à l'esprit la nécessité d'évaluer plus précisément l'impact radiologique à long terme du cycle nouveau proposé, l'obligation de faire sauter au préalable certains « verrous » technologiques forts, l'importance des investissements à consentir pour construire éventuellement des incinérateurs réellement optimisés, l'ampleur des délais qui nous séparent de l'objectif final.

A cette condition seulement, et avec toute l'humilité nécessaire, nous pourrions dire que le contrat passé avec la nation aura été respecté.

RECOMMANDATIONS DU RAPPORTEUR

MAINTENANCE DES REACTEURS D'EDF

- 1^{ère} recommandation EDF est invitée à supprimer toute sous-traitance pour les tâches qui relèvent directement de la responsabilité de l'exploitant nucléaire, en particulier dans les services de radioprotection.
- 2^{ème} recommandation EDF est invitée à appliquer dans toutes ses conséquences l'article 3 de la loi du 31 décembre 1975 sur la sous-traitance, en demandant à ses prestataires de faire connaître de façon exhaustive et à chaque instant les sous-traitants intervenant sur les sites, à quelque « niveau » de sous-traitance que ce soit.
- 3^{ème} recommandation EDF est invitée à prendre des mesures efficaces pour assurer le respect des dispositions légales concernant la durée du travail, y compris pendant les arrêts de tranche
- 4^{ème} recommandation Les DRIRE sont invitées à renforcer la présence des inspecteurs du travail sur les sites lors de leurs inspections en arrêt de tranche, afin de veiller au respect par tous les intervenants de la législation sociale et de la radioprotection

RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EXTERIEURS

- 5^{ème} recommandation L'ensemble des partenaires du nucléaire (administrations, exploitants, prestataires, chercheurs, syndicats, CHSCT) est invité à organiser une enquête destinée à préciser de façon exhaustive, sur une base individuelle, le statut des travailleurs extérieurs intervenant sur les installations nucléaires, le lien avec leur exposition professionnelle et la stabilité de leur emploi

- 6^{ème} recommandation **Les administrations concernées et l'OPRI sont invités à poursuivre dans les meilleurs délais les projets d'informatisation de la carte de suivi médical et des fichiers dosimétriques**
- 7^{ème} recommandation **En attendant, l'OPRI est invité à instituer un numéro unique pour la carte de suivi médical sous sa forme actuelle**
- 8^{ème} recommandation **Le Bureau de Radioprotection et l'OPRI sont invités à mettre en place, à titre expérimental, sur certains sites, une limite de dose calculée au prorata de la durée des contrats de travail**

PROJET DU PROFESSEUR CARLO RUBBIA

- 9^{ème} recommandation **Le Ministère de la Recherche est invité à renforcer son rôle d'incitation, de coordination et de pilotage, dans le cadre des actions à engager pour poursuivre les travaux sur les voies explorées par le Pr. RUBBIA**
- 10^{ème} recommandation **Le Ministère de la Recherche est invité à inscrire cette démarche nationale dans un programme européen qui rassemble toutes les parties concernées**

ADOPTION DU RAPPORT PAR L'OFFICE PARLEMENTAIRE

M. Claude BIRRAUX a présenté les conclusions de son rapport lors de la séance que l'Office parlementaire d'Évaluation des Choix scientifiques et technologiques a tenue le 5 mars 1997.

Après avoir rappelé les événements marquants de l'année auxquels il a été associé en tant que rapporteur de l'Office pour le contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires, M. BIRRAUX a exposé les enseignements qu'il a tirés de ses investigations.

M. Franck SERUSCLAT, sénateur, a exprimé sa satisfaction de voir l'action de l'Office parlementaire dans le domaine nucléaire si appréciée par le Commissaire DIAZ, commissaire de l'autorité de sûreté américaine, dans le courrier que celui-ci a adressé récemment à M. BIRRAUX. Le Parlement est trop souvent critiqué, alors que par le biais d'instances comme l'Office parlementaire d'Évaluation des Choix scientifiques et technologiques, il effectue un travail remarquable.

M. Charles DESCOURS, sénateur, a souhaité féliciter M. BIRRAUX pour la précision et la clarté de son rapport, sur des sujets très difficiles. Le Premier ministre lui avait confié une mission d'information sur la radioprotection des travailleurs dans le domaine médical, qui s'est achevée il y a peu. La situation paraît, dans certains secteurs, particulièrement préoccupante.

En matière de radiologie interventionnelle, par exemple, les praticiens arrivent souvent à prendre une dose aux mains de 50 mSv. A l'Institut Gustave Roussy, on estime qu'ils devraient se limiter, au vu des dernières recommandations de la CIPR 60, à moins de 15 interventions par an, ce qui semble difficile ! Cette discipline, en plein développement, concerne au total environ un millier de personnes.

Mais il y a aussi des problèmes culturels : la radioprotection est une exigence mal appréhendée par le monde médical. Certains cardiologues font 250 angiographies par an sans porter de dosimètres ! Les gens croient aussi trop souvent qu'ils manipulent de « bons » rayons alors que les autres sont de « mauvais » rayons... Il y a beaucoup à faire dans ce domaine.

En matière de radioprotection des travailleurs de l'industrie nucléaire, il est vrai que l'OPRI a longtemps résisté au système de dosimétrie électronique : il souhaite avoir un support matériel, une trace réelle pour archivage.

Enfin le projet du Ministère du Travail visant à interdire l'accès des zones contrôlées aux travailleurs sous contrat précaire est inadapté. L'Administrateur général du CEA a fait remarquer que, si ce projet est adopté, il lui sera désormais impossible d'accueillir des thésards dans certains laboratoires ! On parle de 3000 emplois concernés. Il faut reprendre la question à la base.

M. BIRRAUX a estimé que, effectivement, il existe des moyens pour améliorer le suivi et la protection de ces travailleurs particulièrement fragiles. L'interdiction n'apparaît pas comme indispensable en l'état actuel du dossier tel qu'il le connaît. Ce comportement n'est pas étonnant de la part de l'administration, qui cherche souvent à casser le thermomètre plutôt qu'à faire tomber la fièvre.

M. Pierre LAFFITTE, sénateur, a tenu à féliciter M. BIRRAUX pour la qualité de son rapport. Celui-ci montre que l'Office parlementaire d'Évaluation des Choix scientifiques et technologiques est véritablement à la pointe des avancées scientifiques et sait les traduire en termes d'implications politiques pour le compte du Parlement. La présentation de M. BIRRAUX suscite trois questions :

- en matière de santé publique, la carte SESAME VITALE va être généralisée dans les prochaines années ; ne serait-il pas envisageable d'adjoindre aux informations qu'elle contient un « paragraphe » spécial pour les doses reçues ? ce serait une méthode commode pour un suivi dosimétrique ;
- où en est le CEA dans son positionnement vis-à-vis du projet RUBBIA ? l'argumentaire présenté dans le rapport, sur la méthodologie à adopter en matière d'acquisition de connaissances et de validations expérimentales, est convaincant ; le CEA est-il toujours réservé pour sa part ?
- pourquoi la demande d'une meilleure coordination et d'une plus forte capacité d'impulsion est-elle adressée au Ministère de la Recherche seulement et pas aussi au Ministère de l'Industrie ?

M. BIRRAUX a tout d'abord estimé que l'on est très largement en amont d'une implication directe du Ministère de l'Industrie, même s'il exerce une co-tutelle sur certains des établissements concernés par ce genre de projet.

Lors de l'audition ouverte à la presse, qui a été organisée le 21 novembre dernier, il avait été demandé aux participants comment ils se positionnaient par rapport à la technologie des systèmes hybrides. Le CEA avait estimé qu'il était très difficile d'aller aujourd'hui vers une installation pilote en l'état actuel des connaissances sur les hybrides en général et sur le projet RUBBIA en particulier.

Plutôt que d'assener un programme de travail assorti d'un calendrier, il est apparu plus judicieux au rapporteur de l'Office de montrer que les progrès en la matière doivent découler de la mise en œuvre d'une méthodologie rigoureuse. Le pilote ne représente

que la troisième étape de cette méthodologie, mais il faut garder cet objectif concret en perspective afin de ne pas « dérapier » dans les recherches. Lors de l'audition, l'intervention de P. BACHER a permis de rappeler qu'une étude de faisabilité en bonne et due forme sera nécessaire avant de s'engager dans quelque chose de concret. Le CEA, qui a lancé son programme ISAAC et l'a intégré au groupement de recherche GEDEON, devra alors se positionner très clairement.

La mise au point d'une machine réelle est une lourde tâche ; personne ne pourra y aller tout seul. Le projet espagnol semble avancer à grands pas, et J.M. AZNAR, président du Conseil, a fait des propositions précises à C. RUBBIA, mais on ne sait pas encore très bien ce qui peut en sortir.

M. LAFFITTE a signalé qu'il avait parlé de cette question il y a environ 2 ans avec R. DAUTRAY, Haut Commissaire à l'Énergie atomique. Les choses n'étaient pas encore apparues comme très mûres à l'époque.

M. BIRRAUX a estimé que, sur cette question, R. DAUTRAY a bien relancé le CEA depuis 2 ans. Mais il y a aussi un jeu de rôle de la part des acteurs français, comme une certaine susceptibilité pour un éventuel *leadership* entre C. RUBBIA, le CEA et les autres. A un certain moment il faudra faire un choix politique, et le Ministère de la Recherche devra l'assumer ; il s'y prépare dès aujourd'hui.

Pour la carte SESAME VITALE, il faut remarquer que l'on est encore au tout début du processus. Mais pourquoi pas ? cela permettrait peut-être de comptabiliser enfin correctement les radiographies médicales qui sont l'une des principales sources d'exposition du public.

M. SERUSCLAT a demandé pourquoi, dans la synthèse distribuée avec le rapport, l'énumération des « risques » attachés au projet RUBBIA est souvent suivie de « etc. ». Ces risques sont-ils donc en nombre incalculable ?

M. BIRRAUX a rappelé que certains risques de projet peuvent être détectés dès aujourd'hui mais que beaucoup de choses n'ont pas encore été expérimentées. On ne peut donc pas savoir maintenant si ces risques sont réels et sérieux, ou s'ils doivent être complétés par d'autres risques de projet qui apparaîtraient au cours des recherches.

M. SERUSCLAT s'est demandé s'il n'y a pas alors une contradiction avec l'appréciation finale selon laquelle « on peut y aller ».

M. BIRRAUX a précisé que cette appréciation a deux significations : d'une part il « faut aller » vers une meilleure connaissance des verrous technologiques qui séparent d'une éventuelle machine pilote ; d'autre part, s'il s'avère que l'on peut faire sauter ces verrous, on pourra aller vers une machine pilote, sous réserve de l'étude de faisabilité évoquée plus haut.

Les conclusions du rapport ont ensuite été adoptées à l'unanimité.

PERSONNALITES RENCONTREES OU CONTACTEES

MISSION EN SUEDE

Vattenfall et centrale de Ringhals (8 juillet 1996)

- M. EGNER, directeur Sécurité, Qualité, Environnement
- M. HÄGERSTRÖM, Relations publiques
- M. ANDERSSON, chef d'arrêt de tranche, Ringhals-3

SSI (9 juillet 1996)

- M. BÄVERSTAM, directeur du département des recherches nucléaires
- M. MALMQVIST, inspecteur principal pour Ringhals

SKI (9 juillet 1996)

- M. HÖGBERG, directeur général
- M. SANDEN, département de l'inspection nucléaire
- Mme BLOM, département des interactions homme-technique-organisation

Ministère de l'Industrie et Ministère de l'Environnement (9 juillet)

- M. SCHIPPEL, directeur adjoint, Ministère de l'Industrie
- M. FRITHIOFSON, Ministère de l'Industrie
- M. EKECRANTZ, conseiller spécial du Ministre de l'Environnement

ABB Atom (10 juillet 1996)

- M. CEDERQVIST, chef du département " projets ", division des systèmes nucléaires
- M. WILDER, chef du département " ventes et marketing ", division des systèmes nucléaires
- M. UNNEBERG, directeur (ERFATOM)

SKB (10 juillet 1996)

- M. FORSTRÖM, directeur technique, Division des installations nucléaires

MISSION EN FINLANDE

STUK (11 juillet 1996)

- M. REIMAN, chef adjoint, bureau d'évaluation de sûreté

M. RIHILUOMA, expert en radioprotection
M. KOUTANIEMI, chef du bureau de la qualité

IVO et centrale de Loviisa (12 juillet 1996)

M. MAYER, ingénieur, IVO International
M. PLIT, ingénieur, IVO International
M. PORKHOLM, chef de projet " simulateurs ", IVO International
M. RAITANEN, chef de section " maintenance mécanique ", centrale de Loviisa
M. RAUMOLIN, directeur, Soutien à l'exploitation nucléaire, IVO
M. TAMMINEN, directeur technique, centrale de Loviisa
M. WAHLSTRÖM, chef de section " radioprotection ", centrale de Loviisa

MISSION AUX ÉTATS-UNIS

NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (9-10 SEPTEMBRE 1996)

Commission

Mme JACKSON, président
Mme DICUS, commissaire
M. DIAZ, commissaire
M. MACGAFFIGAN, commissaire

Staff de la NRC Washington

M. CHAN, assistant du commissaire Dicus
M. CORREIA, chef de la section " réglementation de la maintenance ", Office de la réglementation des Réacteurs nucléaires
M. CULLINGFORD, " programmes internationaux ", Office de la réglementation des Réacteurs nucléaires
Mme DUNN LEE, assistant du commissaire Diaz (relations internationales)
M. RAMSEY, Office des programmes internationaux
M. RUSSELL, directeur, Office de la réglementation des Réacteurs nucléaires
M. SCOTT, Office de la réglementation des Réacteurs nucléaires
M. SHEA, directeur de la division " assistance et coopération bilatérales, Office des programmes internationaux
M. SPESSARD, directeur-adjoint, Office de la réglementation des Réacteurs nucléaires
M. STOLBER, directeur, Office des programmes internationaux

Bureau régional, Région III (10 septembre 1996)

M. BEACH, administrateur général, Région III
M. GRANT, directeur, division Sûreté nucléaire
M. CLAYTON, directeur adjoint, division Sûreté nucléaire
M. JACOBSON, chef du département " Spécialistes en ingénierie ", division Sûreté nucléaire

ENTRETIENS DIVERS

Implantations EDF et Framatome (9 septembre 1996)

- M. BUCHALET, vice-président, *Framatome Technologies Inc.*
M. BOUSSARD, président, *EDF International North America Inc.*

Nuclear Energy Institute (9 septembre 1996)

- M. Walters

COMMONWEALTH EDISON (10-11 SEPTEMBRE 1996)

Siège de Commonwealth Edison

- M. GAINES, Liaisons internationales
M. LYSTER, directeur général, Services nucléaires
M. MERCIER, vice-président (chargé de l'exploitation et de la maintenance)
M. SCHULTE, chef de projet " Amélioration des méthodes de travail "
M. ZENTNER, superviseur Ingénierie des contrats et des coûts

Centrale de Zion

- M. FARRAR, chef de la cellule " Conformité réglementaire "
M. HANSING, directeur Vérification qualité
M. HATTON, superintendant Travaux
M. LOPEZ, chef du service Communication
M. SACKSCHEWSKY, instructeur, centre de formation
M. SCHWARTZ, chef de centrale
M. ST. CLAIR, chef d'arrêt
M. STRODL, superviseur Radioprotection

Inspecteurs résidents de la NRC (centrale de Zion)

- M. COLBEY, inspecteur
M. JONES, inspecteur (en visite)
M. WESTBERG, inspecteur principal (par intérim)

Mission EDF (centrale de Zion)

- M. DUPUIS, chef de mission
M. HERRMANN, conduite et sûreté
M. HETSCH, conduite
M. LAVERDURE, assistance chef d'arrêt
M. MILLET, maintenance
M. POUPARD, assistance chef d'arrêt et maintenance
M. PREFOL, planification
M. SAURET, conduite
M. TAVARD, politique prestataires et achats

ENTERGY ET CENTRALE DE WATERFORD-3 (13 SEPTEMBRE 1996)

Entergy Operations Inc.

- M. AZZARELLO, directeur Maintenance
- M. BURSKI, directeur Travaux et Modifications
- M. CALEY, chef de projet Radioprotection
- M. DRUMMOND, directeur Soutien de site
- M. FARIZO, chef de projet Ressources humaines et Communication
- M. FISICARO, Directeur Sûreté nucléaire
- M. FRANCIS, chef d'exploitation (équipe de quart, salle de commande)
- M. HINTZ, président-directeur général, *Entergy Operations Inc.*
- M. LINNARTZ, division Sûreté nucléaire
- M. SHIPMAN, chef d'arrêt

Équipe locale de la NRC

- M. KELLER, inspecteur résident

Stone & Webster

- M. PASTOR, vice-président, directeur Travaux, *Stone & Webster Engineering Corp.*
- M. RICHTER, vice-président, *Stone & Webster Construction Company Inc.*
- M. OWENS, chef de site, *Stone & Webster Construction Company Inc.*

INSTITUTE FOR NUCLEAR POWER OPERATIONS (16 SEPTEMBRE 1996)

- M. ANDERSON, ambassadeur spécial (WANO)
- M. BERG, vice-président, Division des Relations internationales
- M. BORER, directeur, Division Exploitation des centrales
- M. EARP, Division Soutien aux moyens centraux
- M. GILLISPIE, vice-président, directeur, Division Soutien aux centrales
- M. KINDLEY, vice-président, directeur, Division Relations gouvernementales
- M. LEONARD, chef de projet, département Maintenance, Division Soutien aux centrales
- M. LINK JR., chef de projet, département Organisation et Administration, Division Soutien aux moyens centraux
- M. MCCULLOUGH, directeur, Division communication
- M. PEIFER, vice-président, directeur, Division Soutien aux moyens centraux
- M. SOLYMOSSY, chef de projet, département Arrêts de tranche, Division Exploitation des centrales
- M. THISSE, Division Soutien aux moyens centraux

PERSONNEL DES AMBASSADES DE FRANCE

- M. BLANCHOT, consul général de France à Atlanta
- M. DECOMBIS, attaché scientifique, Ambassade de France à Helsinki
- M. LAMY, assistant du conseiller nucléaire, Ambassade de France à Washington
- M. LEROY, conseiller nucléaire, Ambassade de France à Washington
- M. MICHAUD, conseiller scientifique, Ambassade de France à Stockholm
- M. PAUPERT, conseiller culturel et scientifique, Ambassade de France à Helsinki

ENTRETIENS EN FRANCE

Entretiens relatifs au projet du Pr. Carlo RUBBIA

M. DETRAZ, directeur, IN2P3 (16 juillet 1996)
M. SCHWARTZ, CEA-Cabinet du Haut Commissaire (17 juillet 1996)
M. BARRE, directeur, CEA-Direction des réacteurs nucléaires (15 octobre 1996)
Mme TERLAIN, Service de Corrosion, CEA-DTA
M. FERON, Service de Corrosion, CEA-DTA
M. SCHAPIRA, IN2P3
M. LOISEAUX, IN2P3
M. ANDRIAMONJE, IN2P3
Pr. RUBBIA, CERN
M. GELES, CERN
M. RETORTILLA, CREA (Espagne)

GIIN (20 mars 1996)

M. MATHIAS, président, GIIN
M. CANIPELLE, secrétaire général, GIIN
Mme JACQUIN, président, CEFRI

DSIN (16 juillet 1996)

M. LACOSTE, directeur
Mme ROUSSEAU, adjoint au directeur

EDF-IGSN (17 juillet 1996)

M. FRANTZEN, inspecteur général pour la sûreté nucléaire
M. GUIMBAIL, contrôleur général adjoint, EDF-IGSN

IPSN (7 novembre 1996)

M. AUFORT, Facteurs Humains, Département d'Évaluation de Sûreté
M. BARRACHIN, chef du Service d'Analyse des Matériaux et Structures, Département d'Évaluation de Sûreté
Mme BRETTEAU, Service d'Analyse et Expertise en Radioprotection, Département de Protection de l'Homme et de Dosimétrie
M. JAMET, chef du Département d'Évaluation de Sûreté
M. JOREL, chef adjoint du Département d'Évaluation de Sûreté
M. OUDIZ, adjoint à la directrice déléguée à la Protection
M. QUENIART, directeur délégué à la Sûreté
Mme SUGIER, directrice déléguée à la Protection

Framatome (13 novembre 1996)

M. LENY, président
M. VIGNON, directeur général Activités nucléaires
Mme HERTZOG, directeur, Services nucléaires
M. CALAMAND, chef de la division Études-Services, Direction de l'Ingénierie nucléaire (Réalisations nucléaires)
M. DELORME, directeur, division Ingénierie de Maintenance (Services nucléaires)

M. BRECHAT, directeur, division des Opérations (Services nucléaires)
M. LEPETIT, chef de la Division Services, Jeumont Industrie

CETIC (18 novembre 1996)

M. RICHEUX, administrateur du CETIC
M. QUINTIN, responsable d'intervention, Section Pôles-Soudages, ORI Ouest (EDF)
M. PROST, chef de travaux, RÉEL

EDF-Exploitation du Parc nucléaire (20 novembre 1996)

M. BUISSET, chef du Département Maintenance
M. CANGINI, animateur de la démarche Sûreté-Maintenance
M. CAILLOL, animateur de la démarche MCP/Ingénieries de sites
M. DUPRAZ, Directeur, EPN
M. FAURE, chef de la Mission Prestataires
M. FOUREST, chef du Département Sûreté nucléaire
M. GUY, chef de l'Inspection nucléaire
M. SERVIÈRE, chef de la Mission Sûreté
M. STRICKER, Directeur délégué aux affaires techniques

*Mission de l'Inspection nucléaire à Saint-Alban
(5-8 et 25-29 novembre 1996)*

Équipe Inspection nucléaire et UTO

M. BELPEER, inspecteur
M. DRUBIGNY, inspecteur, pilote du domaine Ingénierie
M. KIEKENS, Doel (Belgique)
M. KRIEGER, chef du Service Électricité, Bugey
M. LANGLOIS, inspecteur
Mme LAVOGIEZ, UTO
M. LEFEBVRE, inspecteur, pilote du domaine Maintenance
M. LEGOUPIL, inspecteur
M. PEREIRA, inspecteur, pilote du domaine Conduite
M. PINET, adjoint au chef d'équipe
M. REINA, inspecteur
M. ROBART, inspecteur, pilote du domaine Radioprotection-Incendie
M. ROUDIER, Service Ingénierie, Penly
M. ROUX, chef d'équipe
M. SCRIBE, UTO
M. TURPIN, Service Radioprotection, Cruas
M. WEBER, inspecteur

Direction du site

M. REGNIER, directeur du CNPE
M. GAUCHER, directeur délégué
M. DUSSAUX, chef de la Mission Sûreté-Qualité

Visites de chantiers

- M. BARTHELEMY, chargé de travaux, AMCR (chantier visite interne soupape SEBIM RRA 32 VP)
- M. BET, chargé de contrôle, technicien principal Mécanique-Robinetterie, Service Travaux (chantier diesel LHP)
- M. CHAMBELANT, contrôleur technique, société IRM (chantier diesel LHP)
- M. DUTRIEUX, ingénieur, Service Travaux (chantier diesel LHP)
- M. FORGIERINI, chef de poste Armement, Jeumont Industrie (chantier couvercle de cuve)
- M. PICKART, chargé de contrôle, technicien principal Électricité, Service Automatismes-Électricité (chantier connecteurs K1 sur vanne RRA 2 VP)

Suivi de certains entretiens conduits par l'Inspection nucléaire

- M. ARCHINARD, chargé d'affaire Circuit primaire principal, contrôleur technique, Service Travaux
- M. BELKACEM, ingénieur sûreté Structure permanente d'arrêt de tranche, Service Sûreté-Qualité
- M. BERTRAND, cadre technique Électricité, Service Automatismes-Électricité
- M. BOUCHEREAU, chef d'arrêt, ingénieur, Service Logistique de Production
- M. BROCHU, chargé d'affaire Tests traversées Enceinte, Service Technique
- M. CANFIN, chargé d'affaire Sources électriques, contrôleur technique Électricité, Service Automatismes-Électricité
- M. CHARDON, chef de section Exécution (mécanique, robinetterie, chaudronnerie outillage), Service Travaux
- M. COHARD, chargé d'affaire RIS/EAS, contremaître principal HC Mécanique-Robinetterie, Service Travaux
- M. CONQUET, chargé d'affaire Circuit primaire principal, contrôleur technique, Service Travaux
- M. CONSTANTIN, ingénieur sûreté Structure permanente d'arrêt de tranche, Service Sûreté-Qualité
- M. DELABY, chef d'exécution Automatismes, Service Automatismes-Électricité
- M. DEMICHEL, chef de section Fonctionnement (CIG), Équipe commune
- M. FAURE, contrôleur technique principal Essais, Service Technique
- M. FAURE, attaché Qualité (CIG), Équipe commune
- M. GIL, ingénieur, Service Automatismes-Électricité
- M. KRAWCZYK, contrôleur de travaux, Équipe commune
- M. MOUGEL, préparateur principal Automatismes, Service Automatismes-Électricité
- M. OLIVERI, chargé d'affaire SEC/RRI, contremaître principal HC Mécanique-Robinetterie, Service Travaux
- M. PROBST, préparateur principal Robinetterie, Service Travaux
- M. RAULER, chef IMT (CIG), Équipe commune
- M. SAINT-VENANT, préparateur Robinetterie, Service Travaux
- M. SBYSSIECQ, ingénieur conduite Structure permanente d'arrêt de tranche, chef d'exploitation, Service Conduite
- M. TEMPLEREAU, ingénieur Automatismes-Électricité, Service Ingénierie-Modifications-Travaux neufs
- M. WAUCQUIER, préparateur principal Machines tournantes, Service Travaux

Entretien avec la section locale CGT

- M. ANDANSON, technicien principal Mécanique, Service Travaux
- M. CLAISSE, technicien principal Électricité, Service Automatismes-Électricité
- M. COLOMBINO, technicien principal, Service Sécurité-Radioprotection-Infirmierie
- M. CREMONA, cadre, Service Sûreté-Qualité
- M. HENRIOT, CPHC, Service Conduite

Manpower nucléaire (26 novembre 1996)

- M. AUGER, directeur Grands comptes
- M. DAUL, directeur du secteur Nord-Isère
- Mme JOLY, Interlocuteur spécialisé, responsable des agences de Bourgoin-Jallieu et Roussillon
- M. JUMEL, directeur France Sud-Est
- M. NUNEZ, responsable Grands comptes Marchés nucléaires

DRIRE Rhône Alpes (27 novembre 1996)

- M. BAENA, adjoint au chef de la Division des Installations nucléaires
- M. BOULAIGUE, inspecteur des installations nucléaires de base
- M. CAFFE, Directeur régional de la Recherche, de l'Industrie et de l'Environnement
- M. COLINET, inspecteur du travail
- M. PIGNOL, adjoint au chef de la Division des Installations nucléaires
- M. ROBERT, inspecteur des installations nucléaires de base
- M. SIMON, chef de la Division des Installations nucléaires

CGT (15 janvier 1997)

- M. CREMONA, CNPE Saint Alban
- M. DESAGER, CNPE de Paluel
- M. LALLIER, CNPE de Chinon
- M. LEGASTELLOIS, UTO
- M. OLIVIER, secrétaire fédéral
- M. RANFAING, UTO
- Mme SIMONOT, CNPE du Tricastin

UNETT (15 janvier 1997)

- M. LAFON, vice-président
- Mme DELCOURT, chargé de mission Affaires sociales

CFTC (5 février 1997)

- M. MARTELLO, secrétaire fédéral
- M. NEUMANN, CNPE du Bugey
- M. ROUSSON, CNPE du Bugey

CFDT (6 février 1997)

- M. BALLARIN, UTO
- M. DONNART, secrétaire fédéral Parc nucléaire
- M. DUPONT, CNPE de Gravelines
- M. LECLERCQ, CNPE de Fessenheim
- M. LELAIN, CNPE de Gravelines