

**Expérience acquise dans la gestion de la cellule  
d'examens non destructifs**

**Coquerelle M., Toscano E., Perrier Cl.**

présenté au Groupe de Travail  
"Laboratoires chauds et télémanipulations de la  
CCE", Chinon (EDF), France  
15 - 16 Juin 1993

Commission des Communautés Européennes  
Centre Commun de Recherche  
Institut Européen des Transuraniens  
B.P. 23 40, D-7500 Karlsruhe  
République Fédérale d'Allemagne

## Tables des matières

1. Introduction
  
2. Rappel des objectifs
  - 2.1. - Fonctions et objectifs
  - 2.2. - Solutions techniques
  
3. Expérience acquise après deux ans d'opération de la cellule d'examens non destructifs
  - 3.1. - Utilisations de la cellule et nombre d'examens effectués
  - 3.2. - Analyse du concept d'implantation
  - 3.3. - Influence de l'activité gamma.  
- Fiabilité des techniques de mesure.
  - 3.4. - Incidents. Contamination
  - 3.5. - Aspects humains
  
4. Conclusions

## 1. Introduction

L'Institut Européen des Transuraniens dispose d'un ensemble de cellules chaudes permettant un large éventail d'examens post irradiation dont l'utilisation ne se limite pas à son propre programme d'irradiation qui, jusque 1975, fut principalement axé sur le combustible du réacteur surgénérateur à neutrons rapides, mais convient parfaitement aussi aux examens d'aiguilles combustibles de réacteurs thermiques de puissance gérés par les sociétés productrices d'électricité en Europe.

Comme n'importe quel autre laboratoire, cette installation est contrainte de se moderniser de façon continue, et de se rééquiper afin de tenir compte, non seulement, des progrès technologiques mais aussi des exigences qu'implique sa participation à de nouveaux programmes.

La majorité des équipements installés en 1966 étaient encore en opération en 1990 et l'évolution des techniques expérimentales dans le laboratoire trouve davantage leur justification dans notre participation à de nouvelles activités que dans l'amélioration du concept lors de la construction du laboratoire. Un fait marquant a été le déclin progressif des développements dans le domaine du combustible pour le réacteur rapide et il faut trouver dans cet état de fait la raison principale de recentrer nos activités dans le domaine du combustible du réacteur thermique.

En particulier, dans les années 80 nous avons été amenés à participer à l'étude de certains aspects spécifiques du comportement de  $UO_2$  dans le cadre du programme de la Commission centré sur la Sécurité du réacteur et la Gestion des déchets.

Plus récemment, suite à une décision du Conseil des Ministres qui explicite la nécessité de voir jouer un rôle de soutien pour l'industrie par certaines installations du Centre Commun de Recherche, nous avons été amenés à consacrer une partie de nos activités à l'examen d'aiguilles combustibles de réacteur thermique et, par conséquent, il était indispensable de rééquiper notre cellule d'examens non destructifs. En 1988, la rénovation de cette cellule fut décidée avec comme objectifs la manipulation et l'exécution des

examens NDT sur des aiguilles de type réacteur eau bouillante ou eau pressurisée présentant une longueur maximum de 4,5 m.

Ce travail de rénovation s'est déroulé, en tenant compte d'impératifs qui étaient fixés par les facteurs suivants:

- les objectifs fixés ou prévisibles pour les 10 ou 15 prochaines années
- l'expérience acquise durant les 25 dernières années
- les possibilités budgétaires
- le fait qu'il était impensable de modifier ou d'agrandir le laboratoire  $\alpha, \gamma$

Le concept de la nouvelle cellule pour examens destructifs et son équipement technique ont fait récemment l'objet d'un rapport dans le cadre d'un précédent meeting. Nous ne ferons, ici, qu'un rappel succinct des fonctions et des équipements de cette cellule. A titre d'information pour le lecteur, les figures 1 et 2 représentent, respectivement, l'implantation du laboratoire  $\alpha, \gamma$  et de la cellule pour examens non destructifs. En exploitation depuis février 1991, il nous paraît opportun de tirer des leçons de deux années d'exploitation et de faire part de notre expérience dans ce domaine.

L'analyse que nous proposons sera centrée sur les points suivants :

- bilan des mesures effectuées
- problèmes posés par les techniques utilisées
- problèmes posés par le concept d'implantation

## **2. Rappel des Objectifs**

### **2.1. Fonctions et objectifs**

Les fonctions et objectifs de cette nouvelle cellule étaient précis et sont décrits dans le tableau I. Ils impliquaient une série d'équipements permettant les examens non destructifs classiques mais, en outre, des solutions techniques particulières à notre laboratoire devant permettre le conditionnement et le transfert d'aiguilles ou de segments d'aiguilles combustibles de la zone  $\beta, \gamma$  où s'effectuent les examens non destructifs vers les caissons  $\alpha, \gamma$  où s'effectuent les examens destructifs et vice versa.

- Examens NDT
  - transfert
  - stockage
  - conditionnement
  - refabrication d'aiguilles
  - segmentation des aiguilles et contrôle de longueur des segments d'aiguilles
- } d'aiguilles combustibles

Tableau I: Fonctions de la nouvelle cellule pour examens destructifs

Ce dernier aspect est tributaire à la fois du lay out initial du laboratoire, mais aussi des contraintes dues aux règlements allemands de sécurité. L'ensemble des examens et opérations que nous proposons d'effectuer est décrit ci-après dans le tableau II:

- Examens visuels
- Mesure de la longueur des aiguilles
- Mesure du diamètre des aiguilles, profilométrie
- Spectrométrie  $\gamma$ ,  $\gamma$ -scanning
- Mesure de la couche d'oxyde sur les gaines (courant de Foucault ponctuel)
- Détection de défauts sur les gaines (courant de Foucault encerclant)
- Analyse des gaz de fission: analyse par spectrométrie de masse du gaz de remplissage, détermination du relâchement de gaz de fission et du volume libre de l'aiguille
- Mesure du jeu radial
- Mesures de neutron
- Opérations de démantèlement simple
- Conditionnement de segments d'aiguille dans des capsules étanches  $\alpha$  (Soudure TIG)
- Remplissage des capsules avec un gaz neutre sous pression: hélium, argon
- Test des capsules par reniflage hélium

- Transfert, étanche  $\alpha$  d'aiguilles de la zone  $\beta$ ,  $\gamma$  revers la zone  $\alpha$ ,  $\gamma$  et vice versa
- Test d'étanchéité

Tableau II :

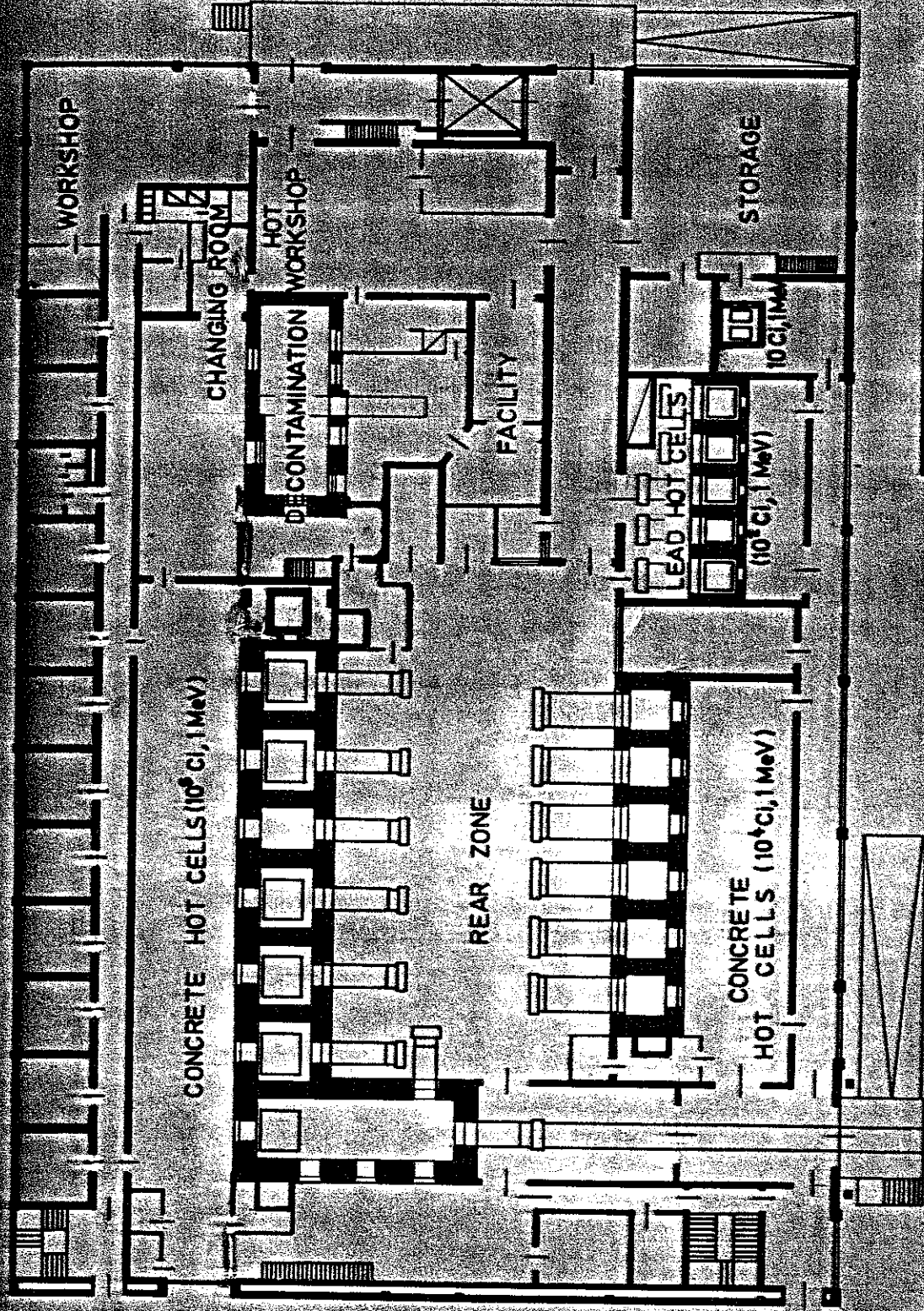
Possibilités techniques de la cellule d'examen non destructifs

## 2.2. Solutions techniques

L'ensemble des opérations qui viennent d'être décrites au point 2.1. doit être réalisé dans une cellule de 11m de long comportant 2 zones bien distinctes: un caisson  $\alpha, \gamma$  standard et une zone  $\beta, \gamma$  de dimension 7m x 3,75 m. Notre préoccupation principale fut, donc, l'utilisation optimum de l'espace disponible du plan de travail la cellule 101 où se déroulent, par définition, toute mesure ou opération n'entraînant pas un contact direct entre le combustible et l'atmosphère de cellule. Si cette dernière condition ne peut pas être respectée pour certaines opérations, celles-ci seront exécutées dans le caisson 101  $\alpha, \gamma$ . Pour des raisons d'encombrement, un concept de mesure dans le sens vertical était exclu et, en outre, le concept de l'appareillage devait aussi tenir compte de l'impossibilité de changer l'orientation des aiguilles à l'intérieur de la cellule ce qui implique une contrainte supplémentaire, en particulier, lors du transport vers nos cellules chaudes.

L'ensemble de ces considérations a conduit à une répartition des appareillages illustrée par la Fig. 2 et caractérisée par la distribution des appareillages sur deux bancs dans la zone  $\beta, \gamma$  ainsi qu'un banc de refabrication et de tronçonnage dans le caisson  $\alpha, \gamma$ . Vous trouverez ci-après la liste des équipements et leur distribution:

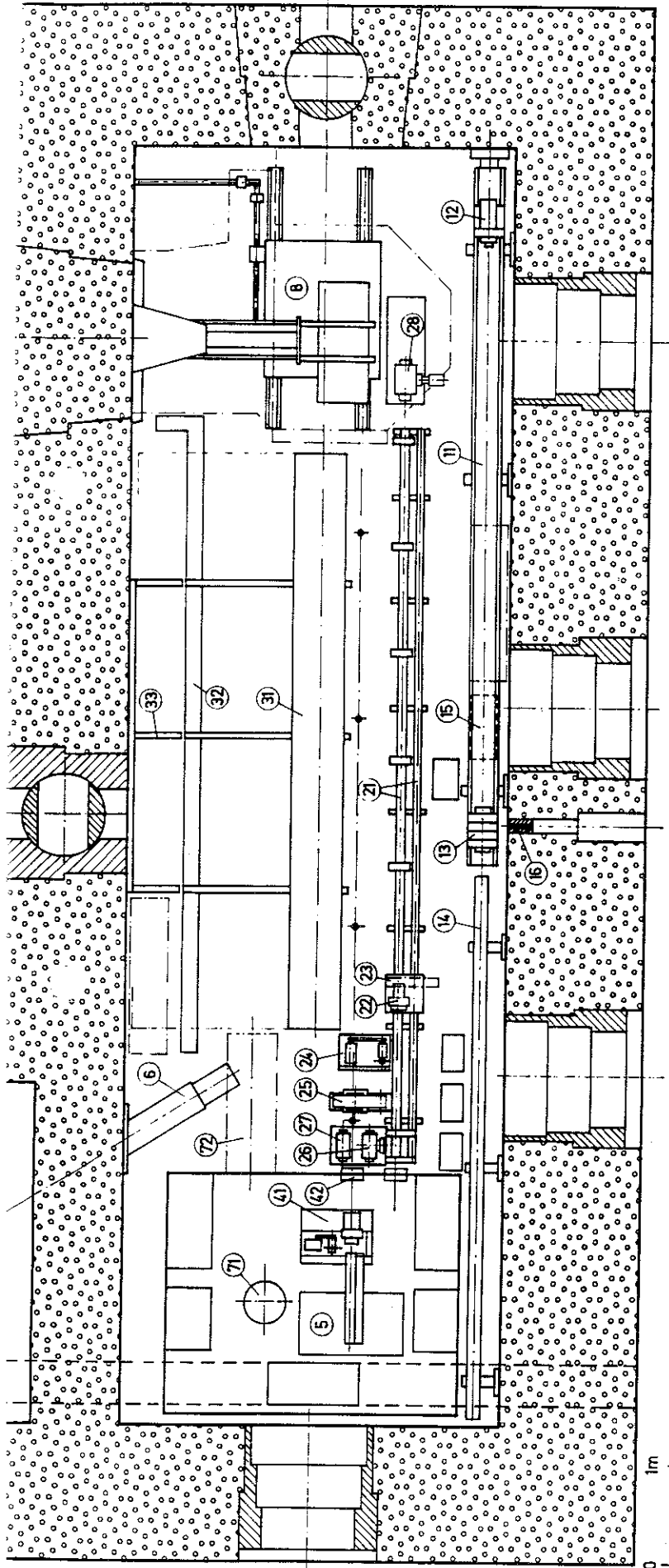
a. Dans la zone  $\beta, \gamma$  sont installés:



**$\alpha, \beta, \gamma$  LABORATORY**

Commission of the European Communities  
**Joint Research Centre**  
 Karlsruhe Establishment

Fig. 1



- 1 Metrology Bench
  - 11 Translation unit
  - 12 Rotation unit
  - 13 Gauging unit
  - 14 Neutron monitor
  - 16 Collimator
- 2. Multipurpose Bench
  - 21 Guide rails
  - 22 Rotation unit
  - 23 Radial gap measurement device
  - 24 Cutting saw
  - 25 Orbital TIG welding unit
  - 26 He-filling chamber
  - 27 He leak test chamber
  - 28 Puncturing device
- 3. Fuel rod storage system
  - 31 Collection trolley
  - 32 Lead shielding
  - 33 Crane system
- 4. Transfer system to  $\alpha$ ,  $\gamma$ -box
  - 42 Cutting machine
  - 42 La Cathène double lid system
- 5. Fuel rod re-fabrication unit
- 6. Oblique transfer system
- 7. Waste conditioning
  - 71 Press
  - 72 Waste container
- 8. Radiography

Fig. 2



- \* 1 banc de métrologie, se composant de:
  - un système de déplacement contrôlé de l'aiguille (position axiale, translation, rotation)
  - un système de mesure avec 3 modules de mesure, insérés dans un boîtier fixe (profilométrie,  $\gamma$ -scanning, courant de Foucault ponctuel, courant de Foucault encerclant)
  - un périscope (examens visuels)
  - un collimateur pour spectrométrie  $\gamma$
  - un dispositif comportant 4 détecteurs  $\text{BF}_3$  pour mesure de neutrons
  
- \* 1 banc multi-fonctions, se composant de:
  - un système de positionnement contrôlé de l'aiguille
  - un appareil de mesure de jeu radial
  - une tronçonneuse.
  - une pince de soudure orbitale TIG
  - une enceinte de remplissage des capsules avec un gaz neutre
  - une enceinte de test par reniflage helium.
  
- \* Une installation de prélèvement des gaz de fission couplée avec un spectromètre de masse
- \* Un système de stockage des aiguilles (40 max)

- b. Dans le caisson  $\alpha, \gamma$  en-dehors de la presse de compaction des déchets, nous trouvons 2 appareillages permettant :
- le débitage des aiguilles de segments de 60 cm maximum de longueur par tronçonnage sous huile (disque diamanté)
  - un banc de refabrication permettant la soudure de bouchons (soudure orbitale TIG) et une enceinte de remplissage des capsules sous He (20 - 22 atmosphères), avec contrôle d'étanchéité de la soudure par reniflage He.

### 3. **Expérience acquise au cours des deux premières années d'exploitation**

La nouvelle cellule d'examens non destructifs est en exploitation depuis mars 1991 et environ 200 aiguilles de réacteurs de puissance provenant des réacteurs de Gösgen/Suisse, Neckarwelsheim, Isar, Obrigheim (BRD), mais aussi du réacteur d'essai BR3 (B) ont été réceptionnées et examinées. Ces aiguilles appartiennent au programme de recherche et développement de KWU Siemens. Les aiguilles de BR3 (Belgique) constituent, en fait, les aiguilles qui seront utilisées lors des expériences du projet PHEBUS PF.

La période d'exploitation, d'un peu plus de deux ans, donc relativement courte permet, cependant, une analyse critique sur le concept d'implantation qui fut choisi en fonction de critères ou d'impératifs qui ont été décrits précédemment, mais aussi sur la qualité des résultats.

#### 3.1. Utilisation de la cellule et nombre d'examens effectués

La méthode probablement la moins discutable pour confirmer le bien fondé de la décision qui a conduit à la rénovation et au rééquipement de la cellule d'examens destructifs est de faire un bilan du travail accompli durant ces deux premières années d'exploitation.

Le tableau III constitue un descriptif des mesures effectuées et des travaux de conditionnement de segments d'aiguilles. Ce tableau met en évidence la nature et la quantité des mesures ou opérations effectuées. Celles-ci ont pu être réalisées non seulement dans les délais fixés par nos partenaires mais, aussi, en respectant les précisions et tolérances fixées contractuellement.

Elles correspondent, à l'exception des arrêts nécessaires pour la maintenance du laboratoire et l'entretien des manipulateurs ainsi qu' une intervention nécessaire sur le manipulateur lourd à une utilisation continue de la cellule durant 24 mois avec un personnel limité :

- à un collaborateur scientifique part time
- à deux agents techniques full time

Nombre de mesures ou d'opérations effectuées depuis mars 1991

Expérience	examen visuel	mesure de longueur des aiguilles	$\gamma$ -scanning	profilométrie	détermination de la couche d'oxyde (gaine)	détermination de défauts dans la gaine	analyse du gaz de remplissage	conditionnement de segments d'aiguilles
Phébus lot 1	26	26	26	3	3	26	1	
Phébus lot 2	25	25	25	3	3	25	1	
Phébus lot 3	27	27	12	-	-	27	-	
KWU/Siemens	20	30	30	40	45	20	100	32
BR3/TU	5	5	5	5	5	5		
	103	113	98	51	56	103	102	32

### 3.2. Analyse du concept d'implantation

La multiplicité des fonctions imparties à cette cellule qui vont de l'exécution des tests non destructifs en passant par l'élimination des déchets actifs provenant de la ligne de grandes cellules, le stockage des aiguilles à examiner et les opérations de refabrication soit pour le conditionnement en vue du transport vers le réacteur d'origine soit pour des tests de réirradiation conduit inévitablement à des situations d'exclusion.

Certaines opérations ou mesures en cours ont pour conséquence de rendre impossible l'exécution simultanée d'autres mesures.

Il est impossible, par exemple, d'effectuer le tronçonnage d'aiguilles dans le caisson  $\alpha, \gamma$  et en même temps d'exécuter des  $\gamma$ -scannings sans mesurer les modifications du background. De même, il est impossible de déterminer la composition du gaz de remplissage et de refabriquer des aiguilles avec joint He pour la bonne raison que nous utilisons la même spectrométrie de masse pour ces deux opérations.

Cet état de fait nous était évident lors de l'élaboration du concept d'implantation et nous avons délibérément opté pour une solution offrant le maximum de possibilités techniques aux dépens d'une flexibilité maximum. A l'heure actuelle, nous ne regrettons pas cette décision.

Un aspect important du concept d'implantation était d'avoir sur le même site le stockage des aiguilles à analyser avec le haut niveau d'activité  $\gamma$  qu'il entraîne et des appareils de mesure.

L'impact de l'activité gamma est discuté dans le paragraphe suivant.

Pour des raisons de limitations dans le sens de la hauteur il est impossible de changer l'orientation des aiguilles à l'intérieur de la cellule ce qui implique deux contraintes; l'une sur le concept de l'appareillage - toute mesure dans le sens vertical est exclue et la seconde qui joue dans le cas d'aiguilles à design assymétrique.

l'orientation de celles-ci dans le château de transport est fixé impérativement par notre appareillage, en particulier, pour la ponction des aiguilles, ce qui implique une bonne coordination entre le réacteur et notre laboratoire.

Pour terminer, signalons encore que la présence d'une presse pour diminuer le volume des déchets dans le caisson 101  $\alpha$ ,  $\gamma$  conduit à un empilement des déchets comprimés pour la bonne raison que leur évacuation vers la KfK ne s'effectue pas avec toute la flexibilité nécessaire. Celle-ci est entravée par des procédures administratives. Actuellement, un stockage intermédiaire des containers de transport est en voie de réalisation à l'Institut.

### 3.3. Fiabilité des techniques de mesures. Influence de l'activité gamma.

- A- De façon générale, les tests non destructifs n'ont pas présenté de défaillances ou de grosses difficultés lors de leur utilisation et seules les techniques par courant de Foucaud ont posé quelques problèmes. Dans le cas particulier de la détermination de l'épaisseur de la couche extérieure de corrosion, nous avons du faire face à un manque de précision qui était essentiellement imputable à un positionnement imprécis de la jauge. Des améliorations apportées au dispositif de guidage de la jauge ont permis de résoudre ce problème.
  
- Une autre difficulté est apparue lors des mesures effectuées sur des nuances de Zr-y dont la composition chimique s'écartait de celle du Zr-y 4. Une correction a été apportée à partir de la connaissance de la résistivité électrique des différents matériaux de gainage utilisés.

En ce qui concerne la détermination des défauts dans le matériau de gainage les limites de sensibilité sont essentiellement liées à la nature des standards utilisés. Il est, cependant, intéressant de noter que les signaux  $\gamma$  sont influencés par l'interaction entre le matériau de gainage et les pastilles de combustible; cette interaction peut être de caractère mécanique ou chimique et n'apparaît, évidemment, que dans le cas de burn-up supérieurs à 5 a/o.

- Un gain de précision dans la quantification des données du gamma-scanning a été obtenue en améliorant la détermination des aires des pics des émetteurs gamma et par calibration au moyen de sources Cs-137 étalonnées.
  - Pour des raisons contractuelles, nous avons effectué un grand nombre d'analyses de gaz de remplissage. L'expérience montre que le niveau de confiance de l'analyse quantitative par spectrométrie de masse est très sensible à la composition du mélange gazeux utilisé pour la calibration. Celui-ci doit être le plus représentatif possible du mélange gazeux analysé.
- B- Depuis le début de la mise en opération, l'activité totale de la cellule est constamment d'environ  $6.10^{15}$  Bq et après deux ans d'exploitation, il est logique d'analyser l'incidence de cette irradiation continue sur certains composants électroniques ou polymères que l'on retrouve dans nos appareils de mesure.
- Vous trouverez ci-joint un descriptif des observations que nous avons faites :
- a- jauges de mesure : quelle que soit la nature des jauges utilisées - courant de Foucault (300 KHz et 1 MHz ) et LVDT (profilométrie) - aucune interaction négative n'est à signaler. Seule la jauge LVDT a du être échangée suite à la présence d'un connecteur défectueux.
  - b- fins de course  
D'une façon générale la tenue des fins de course est nettement moins bonne quand il s'agit de composants miniatures. Ceux-ci ne sont pas recommandables dans de telles conditions de travail.
  - c- La règle optoélectronique utilisée pour les mesures de longueur pouvait constituer un point faible de l'installation, mais fonctionne, jusqu'à présent, correctement.
  - d- Cablage électrique  
Nous avons à déplorer une détérioration des câbles d'alimentation électrique et du système pneumatique du manipulateur lourd. Ces câbles en perburnan dataient du début du laboratoire (1966) et

suite à une diminution de ductilité, les isolants se sont fissurés. Ils ont du être remplacés en utilisant les télémanipulateurs. Actuellement, les câbles utilisés sont en polyuréthane et devraient présenter une bonne tenue à l'irradiation gamma.

Nous avons aussi été amenés à changer les câbles des jauges de mesure sur le banc de métrologie; en fait, les problèmes étaient liés à un mauvais fonctionnement des connecteurs.

-e- Périscope.

Une diminution légère de la luminosité de l'optique a été constatée. A l'heure actuelle, il ne nous est pas possible de préciser s'il s'agit d'une altération des lentilles du périscope ou de la lame de quartz qui sert de hublot dans le bouchon, faisant office d'étanchéité  $\alpha$ , dans lequel est inséré le périscope.

-f- Stabilité du banc de métrologie.

Lors des tests effectués avant la mise en place dans la cellule, le jeu entre le système d'entraînement de l'aiguille mesurée par la règle optoélectrique et la longueur effective de l'aiguille était de 40 microns. Désormais, elle est de 400 microns; nous n'avons pas de réponse satisfaisante concernant les raisons possibles de cette altération.

### 3.4. Incidents Contamination

Depuis la mise en exploitation nous avons eu à déplorer un seul incident consistant en un feu de Zr-y.

Nous tronçons à sec des aiguilles composées de segments et les capeaux de Zr-y résultant de ce tronçonnage sont collectés par un aspirateur. L'oxydation du zirconium est exothermique au-dessus de 300°C et nous supposons que cette oxydation s'est déroulée à

l'intérieur de l'aspirateur entraînant la combustion du filtre absolu. Il en est résulté une contamination Sb-125 de la cellule; localement des activités entre  $10^3$  à  $3.10^4$  Bq  $\beta$ /cm<sup>2</sup> ont été mesurés par frottis. Dans la mesure où l'activité totale en cellule est de l'ordre de  $6.10^{15}$  Bq, on peut établir le rapport suivant

niveau activité  $\beta$  admissible cellule

niveau activité totale cellule

$$\frac{2,625 \cdot 10^5 \text{cm}^2 \times 400 \text{ Bq/cm}^2}{6 \cdot 10^{15} \text{Bq}} = 1,75 \cdot 10^{-9}$$

si l'on admet à 30 % la contribution des émetteurs  $\beta$ , ce rapport devient  $5,8 \cdot 10^{-8}$ ; une contamination d'un facteur  $10^{-8}$  de l'activité totale suffit pour dépasser les limites imposées !

Le manque de réalisme des normes imposées par les responsables de la sécurité est mis en évidence l'ordre de grandeur calculé ci-dessus; l'absurdité du système est directement proportionnel au niveau de délire sécuritaire. Tout commentaire supplémentaire me semble superflu.

### 3.5. Aspects humains

La réorientation du travail vers des activités de service pour clients extérieurs aux dépens d'activité essentiellement de recherche ou de développement interne ne pouvait pas se dérouler sans réactions au niveau du personnel impliqué dans ces travaux.

Les réactions sont nettement différentes selon qu'il s'agit du personnel technique ou scientifique.

Dans le premier cas, on peut affirmer que cette évolution a été perçue comme une valorisation du travail personnel. Le fait de travailler pour l'industrie constitue une preuve de l'utilité du travail dans un cadre où les buts sont davantage visibles que ceux présentés par un programme de recherche.

Au niveau des scientifiques, les réactions sont quelque peu différenciées. Si l'obligation de travailler pour l'industrie est en soi considéré un facteur de stabilité pour le laboratoire, on regrette en même temps le manque de liberté dans le choix du travail à effectuer, les restrictions sur les méthodes expérimentales à utiliser et, parfois, l'impossibilité de participer dans toutes les phases de l'interprétation des résultats; un point déterminant sur l'impact psychologique issu de



ces conditions de travail est l'impossibilité de participer aux décisions de programme de nos clients, ce qui s'explique aisément, mais n'atténue pas certaines réactions de frustration.

#### 4. CONCLUSIONS

La rénovation de la cellule d'examens non destructifs avait été décidée en vue d'être en mesure d'examiner des aiguilles de réacteur de puissance présentant une longueur maximum de 4.50m. Après deux ans d'exploitation, nous pouvons affirmer que les buts proposés ont été atteints.

Quels que soient les critères utilisés pour établir un jugement le moins subjectif possible, que ce soit l'exécution des tâches à exécuter dans des délais fixés par nos partenaires, la qualité des prestations, la limitation des incidents nous sommes en mesure de tirer un bilan positif.

Le manque de flexibilité qui est causé au niveau gestion par la multiplicité des fonctions assurées par cette installation n'a pas conduit à des situations insolubles. La priorité donnée à l'utilisation maximum par rapport à la flexibilité de gestion maximum semble être, dans ce cas, la bonne décision.

En 1994, une interruption du travail est prévue en vue d'effectuer quelques réparations, en particulier, sur le manipulateur lourd. Aucune modification de l'implantation actuelle n'est prévue, ce concept développé en 1990 étant considéré comme justifié par les résultats.

## REFERENCES

- [ 1 ] - Coquerelle M., Samsel G., Perrier Cl., Rénovation de la cellule pour examens non destructifs, Groupe de Travail "Laboratoires chauds et télémanipulation de la CEE", Barnwood, U.K. 25-26 juin 1991 "

**Fig. 1** Dessin d'implantation des laboratoires  $\alpha, \gamma$

**Fig. 2** Dessin d'implantation de la cellule pour examens non destructifs

<b>Tableau I</b>	<b>Fonctions de la nouvelle cellule d'examens destructifs</b>
<b>Tableau II</b>	<b>Possibilités techniques de la cellule d'examens destructifs.</b>
<b>Tableau III</b>	<b>Descriptif des mesures effectuées</b>