

**EUR 3898 f,e**

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - EURATOM

LISTE DE TRAVAUX ET D'ETUDES  
POUVANT ETRE EXECUTES PAR LA COMMISSION  
DANS LE CADRE DES FILIERES DE REACTEURS  
DE PUISSANCE A EAU LOURDE

1968



Programme ORGEL

Centre Commun de Recherche Nucléaire  
Etablissement d'Ispra - Italie

## AVERTISSEMENT

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission des Communautés Européennes.

Il est précisé que la Commission des Communautés Européennes, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne porte pas atteinte à des droits privatifs;

n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés décrits dans le présent document.

Ce rapport est vendu dans les bureaux de vente indiqués en 4<sup>e</sup> page de couverture

au prix de FF 7,—

FB 70,—

DM 5,60

Lit. 870

Fl. 5,10

**Prière de mentionner, lors de toute commande, le numéro EUR et le titre qui figurent sur la couverture de chaque rapport.**

Imprimé par Euratom  
Bruxelles, mars 1968

Le présent document a été reproduit à partir de la meilleure copie disponible.

## **EUR 3898 f,e**

LISTE DE TRAVAUX ET D'ÉTUDES POUVANT ÊTRE EXÉCUTÉS  
PAR LA COMMISSION DANS LE CADRE DES FILIÈRES DE RÉACTEURS  
DE PUISSANCE A EAU LOURDE

Communauté Européenne de l'Energie Atomique - EURATOM  
Programme ORGEL  
Centre Commun de Recherche Nucléaire  
Etablissement d'Ispra (Italie)  
Bruxelles, mars 1968 - 48 pages - FB 70

Ce document expose les compétences qui se sont développées au sein d'EURATOM, dans le cadre des études exécutées depuis 1960 pour le projet ORGEL. Ces compétences couvrent les domaines théorique et expérimental et forment un large éventail allant des matériaux à la physique des réacteurs. Elles sont étayées par un certain nombre d'installations décrites dans la seconde partie du document, dont les plus importantes sont le réacteur critique ECO et le réacteur d'essai des sous-ensembles ESSOR, auquel sont annexés deux laboratoires chauds.

## **EUR 3898 f,e**

LIST OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL WORK WHICH CAN  
BE CARRIED OUT BY THE COMMISSION IN CONNECTION WITH  
HEAVY WATER REACTOR DEVELOPMENT

European Atomic Energy Community - EURATOM  
ORGEL Program  
Joint Nuclear Research Center  
Ispra Establishment (Italy)  
Brussels, March 1968 - 48 Pages - FB 60

This document describes the expertise acquired within EURATOM in the framework of the studies carried out for the ORGEL Project since 1960. This expertise covers the theoretical and the experimental fields, in a broad spectrum going from work on materials to reactor physics. They are supported by a range of facilities, described in the second part of the document, among which the two most important are the ECO critical reactor and the ESSOR reactor for testing sub-assemblies along with its two hot laboratories.

This expertise and these facilities, a great deal of which are available at the

## **EUR 3898 f,e**

LIST OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL WORK WHICH CAN  
BE CARRIED OUT BY THE COMMISSION IN CONNECTION WITH  
HEAVY WATER REACTOR DEVELOPMENT

European Atomic Energy Community - EURATOM  
ORGEL Program  
Joint Nuclear Research Center  
Ispra Establishment (Italy)  
Brussels, March 1968 - 48 Pages - FB 60

This document describes the expertise acquired within EURATOM in the framework of the studies carried out for the ORGEL Project since 1960. This expertise covers the theoretical and the experimental fields, in a broad spectrum going from work on materials to reactor physics. They are supported by a range of facilities, described in the second part of the document, among which the two most important are the ECO critical reactor and the ESSOR reactor for testing sub-assemblies along with its two hot laboratories.

This expertise and these facilities, a great deal of which are available at the

## **EUR 3898 f,e**

LIST OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL WORK WHICH CAN  
BE CARRIED OUT BY THE COMMISSION IN CONNECTION WITH  
HEAVY WATER REACTOR DEVELOPMENT

European Atomic Energy Community - EURATOM  
ORGEL Program  
Joint Nuclear Research Center  
Ispra Establishment (Italy)  
Brussels, March 1968 - 48 Pages - FB 60

This document describes the expertise acquired within EURATOM in the framework of the studies carried out for the ORGEL Project since 1960. This expertise covers the theoretical and the experimental fields, in a broad spectrum going from work on materials to reactor physics. They are supported by a range of facilities, described in the second part of the document, among which the two most important are the ECO critical reactor and the ESSOR reactor for testing sub-assemblies along with its two hot laboratories.

This expertise and these facilities, a great deal of which are available at the

Ces compétences et ces installations qui se trouvent, en grande partie, à l'Etablissement d'Ispra peuvent servir tout d'abord pour les études sur les réacteurs à eau lourde et, plus généralement, pour l'étude de maints problèmes liés au développement des réacteurs.

Ispra Establishment, are adaptable, first to the heavy water reactor studies, and more generally to the study of many problems connected with reactor developments.

Ispra Establishment, are adaptable, first to the heavy water reactor studies, and more generally to the study of many problems connected with reactor developments.

Ispra Establishment, are adaptable, first to the heavy water reactor studies, and more generally to the study of many problems connected with reactor developments.

# EUR 3898 f,e

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - EURATOM

LISTE DE TRAVAUX ET D'ETUDES  
POUVANT ETRE EXECUTES PAR LA COMMISSION  
DANS LE CADRE DES FILIERES DE REACTEURS  
DE PUISSANCE A EAU LOURDE

1968



Programme ORGEL

Centre Commun de Recherche Nucléaire  
Etablissement d'Ispra - Italie

## RÉSUMÉ

Ce document expose les compétences qui se sont développées au sein d'EURATOM, dans le cadre des études exécutées depuis 1960 pour le projet ORGEL. Ces compétences couvrent les domaines théorique et expérimental et forment un large éventail allant des matériaux à la physique des réacteurs. Elles sont étayées par un certain nombre d'installations décrites dans la seconde partie du document, dont les plus importantes sont le réacteur critique ECO et le réacteur d'essai des sous-ensembles ESSOR, auquel sont annexés deux laboratoires chauds.

Ces compétences et ces installations qui se trouvent, en grande partie, à l'Etablissement d'Ispra peuvent servir tout d'abord pour les études sur les réacteurs à eau lourde et, plus généralement, pour l'étude de maints problèmes liés au développement des réacteurs.

## MOTS-CLÉS

REACTORS  
HEAVY WATER MODERATOR  
ORGEL REACTOR  
ESSOR  
ECO  
REACTOR LATTICES  
REACTOR MATERIALS  
REACTOR KINETICS  
REACTOR SAFETY  
FUEL CYCLE  
PLUTONIUM  
THORIUM  
IRRADIATION  
MATERIALS TESTING  
CONTROL SYSTEMS

## TABLE DES MATIERES

1. PHYSIQUE DU REACTEUR
  - 1.1. Etudes expérimentales
    - 1.1.1. Coeurs vierges et froids
    - 1.1.2. Coeurs vierges et chauds
    - 1.1.3. Réseaux contenant du plutonium
    - 1.1.4. Recyclage du plutonium
    - 1.1.5. Coeurs au thorium
  - 1.2. Etudes théoriques
  - 1.3. Organes de contrôle
  - 1.4. Analyseur de dynamique statistique
  
2. MATERIAUX
  - 2.1. Matériaux combustibles
  - 2.2. Matériaux de structure
  - 2.3. Dépôts de couches
  - 2.4. Graphite imperméabilisé
  - 2.5. Réfrigérant
  
3. ELEMENTS COMBUSTIBLES ET IRRADIATIONS
  - 3.1. Etude des éléments combustibles
    - 3.1.1. Hydraulique et transfert thermique
    - 3.1.2. Etude mécanique et thermomécanique
  - 3.2. Etudes de fabrication et contrôles
    - 3.2.1. Soudage
    - 3.2.2. Contrôles non destructifs
  - 3.3. Instrumentation
  - 3.4. Irradiation de matériaux en capsules, de crayons et d'éléments combustibles prototypes
  - 3.5. Examens post-irradiatoires
  
4. ELEMENTS STRUCTURELS DU REACTEUR
  - 4.1. Canaux pour réacteurs à tube de force
  - 4.2. Systèmes de manutention
  - 4.3. Cuves de réacteurs

**5. ETUDES SUR LA SECURITE DES PILES A EAU LOURDE**

**6. RECYCLAGE DU PLUTONIUM**

**7. THORIUM**

**8. ETUDES DE CENTRALES A EAU LOURDE**

**8.1. Etudes de conception et d'optimisation**

**8.2. Comportement dynamique**

**ANNEXE: Répertoire des principaux équipements ou installations  
disponibles pour les études sur les réacteurs à eau  
lourde**



## 1. PHYSIQUE DU REACTEUR

A l'occasion du Projet ORGEL, une compétence en matière de physique des réacteurs à eau lourde s'est développée dans les services de la Commission. Elle couvre aussi bien les domaines théoriques qu'expérimentaux. Elle est fondée sur quelques installations importantes : ECO, EXPO et, dans une certaine mesure, ESSOR (étude expérimentale de réseaux à eau lourde très hétérogènes).

Différentes études pourraient donc être entreprises :

### 1.1. Etudes expérimentales

#### 1.1.1. Coeurs vierges et froids

L'expérience critique ECO et la pile exponentielle EXPO permettent d'exécuter toute étude expérimentale sur un quelconque coeur de réacteur à eau lourde, qu'il soit alimenté à l'uranium naturel ou légèrement enrichi (mesures du laplacien du réseau par la méthode de substitution, mesures de structures fines). Nous disposons du réseau de référence nécessaire. Par contre, les combustibles à expérimenter (charge de substitution ou élément particulier), seraient à approvisionner.

#### 1.1.2. Coeurs vierges et chauds

Dans ECO, la température maxima à laquelle peut être porté le modérateur est de 60°C. Par contre, une installation dite "têtes chauffantes" permet de chauffer un fluide organique jusqu'à une température de 300 à 350°C, sous une pression max. de 30 atmosphères, dans 9 canaux spéciaux, afin de mesurer le coefficient de température d'un canal ORGEL. Cette installation, qui sera montée dans ECO au début de 1968, permettrait de mesurer aussi

---

(\*) Manuscrit reçu le 9 janvier 1968.

le coefficient de température de réfrigérants qui s'adaptent aux conditions de température et de pression indiquées plus haut. On pourrait envisager qu'une installation du même genre, mais adaptée aux conditions d'un autre réfrigérant, soit installée dans ECO.

### 1.1.3. Réseaux contenant du plutonium

Le calcul des bilans de réactivité ainsi que des coefficients de puissance des coeurs plutonifères est important, tant en ce qui concerne la connaissance exacte de l'évolution sous irradiation des coeurs vierges que du comportement dynamique des coeurs irradiés et que des possibilités qu'offre le recyclage du Pu dans les réacteurs à eau lourde.

Les travaux correspondants pourraient inclure la mesure de caractéristiques globales, des mesures de coefficient de température et des mesures de structures fines. Les méthodes utilisées pourraient être la substitution, ou plutôt l'oscillation, pour laquelle la technique est en cours de développement.

Ces mesures pourraient se faire, soit avec du combustible reconstitué qui devrait être approvisionné en quantité suffisante, soit avec du combustible irradié dans un autre réacteur. Dans le dernier cas, il faut noter que, si ECO a reçu dès la construction les protections nécessaires, les dispositifs de transfert de combustible n'existent pas et seraient donc à réaliser. Les analyses isotopiques correspondantes pourraient être effectuées à Ispra ou à Geel.

En ce qui concerne l'évolution du combustible, quelques crayons d'UC sont en cours d'irradiation dans un spectre bien défini, dans une boucle organique située dans le canal central

d'ISPRA-1. De telles études pourraient être étendues grâce à ESSOR.

#### 1.1.4. Recyclage du Plutonium

Dans le cas où il serait demandé d'étudier le recyclage du Pu dans les réacteurs à eau lourde, certaines expérimentations particulières pourraient être envisagées. Certes, le fait d'avoir séparé, dans les recherches relatives aux réseaux irradiés, l'étude du plutonium (par des éléments de combustible reconstitués) de celle des produits de fission, permet de déduire des mesures du paragraphe précédent une partie des renseignements intéressant la physique des réseaux au plutonium. Néanmoins, il faut remarquer qu'au cas où l'orientation des études d'optimisation du cycle conduirait à des enrichissements initiaux en plutonium fissile supérieurs à ceux étudiés dans le cadre du programme concernant les réseaux irradiés, il serait souhaitable d'envisager des mesures complémentaires.

#### 1.1.5. Coeurs au thorium

Même si on s'accorde aujourd'hui pour reconnaître que l'intérêt économique du thorium pourrait se manifester seulement à long terme dans une situation caractérisée par un prix élevé de l'uranium, on pourrait juger utile d'acquérir une meilleure connaissance des données nucléaires des réseaux utilisant l'U-233 et le thorium comme matière fissile et fertile. On constate que les mesures sont assez nombreuses pour les réseaux à géométrie de combustible simple, mais le sont moins pour les géométries à grappes.

Ce qui a été dit précédemment pour l'U et le Pu montre que de telles mesures seraient possible dans le réacteur ECO en utilisant les méthodes de substitution et d'oscillation. Une proposition dans ce sens a déjà été faite par le CNEN.

## 1.2. Etudes théoriques

Une grande expérience dans ce domaine a été acquise, tant en ce qui concerne le calcul des réseaux (mise au point de codes divers), que dans le développement des méthodes d'interprétation des mesures. A noter qu'en plus de cette expérience, grâce aux travaux effectués sur le réacteur ESSOR, on a mis au point des méthodes hétérogènes qui paraissent très utiles pour le calcul de coeurs de réacteurs de puissance.

En ce qui concerne la gestion du combustible, une expérience existe, qui s'est traduite par la mise en oeuvre de méthodes diverses.

## 1.3. Organes de contrôle

La possibilité d'utiliser des systèmes à liquide (solution empoisonnée) pour le contrôle de réacteurs à eau lourde a été envisagée à Ispra. Le dispositif EULER permet d'expérimenter en vraie grandeur divers types de barres de sécurité liquides ainsi que leurs circuits; le programme actuel, qui comporte l'étude de deux procédés différents comprend des essais de dynamique et de chimie. L'efficacité de ces barres devrait être testée dans ECO, puis elles pourraient être montées dans un réacteur (ESSOR) pour y subir l'épreuve de l'irradiation et des phénomènes connexes.

D'une manière générale, il existe un potentiel en matière de développement d'organes de contrôle et d'instrumentation. Signalons également qu'ECO permet de mesurer l'efficacité en réactivité de tout procédé de contrôle.

## 1.4. Analyseur de dynamique statistique

Le travail effectué dans le domaine des techniques expérimentales et l'expérience acquise, nous fait penser qu'un instrument très bien adapté à l'expérimentation sur la dynamique d'un réacteur serait un cross-corrélateur complètement digitalisé,

capable aussi d'effectuer des mesures harmoniques dans des domaines de fréquence bien déterminés. En effet, les techniques de cross-corrélation sont plus générales que l'analyse harmonique puisqu'elles permettent d'effectuer l'étude simultanée de plus d'une sortie.

En outre une application future possible des mesures sur réacteurs pourrait être le monitoring continu des spectres de bruit en vue de détecter des modifications dangereuses pour la sécurité, ou le couplage avec le système de contrôle automatique pour former une chaîne adaptative. Un tel système serait particulièrement intéressant pour les réacteurs pour lesquels les caractéristiques dynamiques varient considérablement avec le "burn-up".

L'appareil, actuellement en cours de développement permettrait en outre : d'effectuer l'analyse en amplitude, l'identification de systèmes perturbés par signaux internes ou externes, l'opération automatique, l'étude de la réponse impulsive ou en fréquence des systèmes.

## 2. MATERIAUX

### 2.1. Matériaux combustibles

Une compétence a été acquise dans le domaine des matériaux combustibles à propos des programmes ORGEL (développement du carbure d'uranium essentiellement) et graphite-gaz (études structurales d'alliages d'uranium). L'équipement correspondant existe et peut être disponible.

Dans le domaine de la métallurgie structurale et physique, les principaux moyens existants sont :

- Fours de coulée, presse de frittage, presse de filage, laminoir, appareillage pour compaction par vibration, etc., laboratoire de métallographie (microsonde de Castaing, rayons X, microscope électronique), appareillages de mesures physiques (dilatométrie, conductibilité thermique, etc., appareillages pour étude des produits de fission.

Citons, parmi les études qui peuvent être entreprises :

- . L'étude et l'élaboration d'alliages d'uranium.
- . L'étude et l'élaboration de carbures d'uranium, effet d'additions.
- . L'étude de tout autre matériau combustible.
- . L'étude de propriétés structurales et physiques.
- . Les problèmes de diffusion et de dégagement des produits de fission.

En ce qui concerne la compatibilité et la corrosion, il existe un laboratoire équipé. La microsonde de Castaing peut apporter son concours. Il existe également une installation de remplissage de gaine avec du sodium et du plomb.

Les problèmes qui peuvent être traités sont :

- . La compatibilité entre le combustible et la gaine et tout autre matériau (thermocouples).
- . L'étude de barrières de diffusion.
- . Les études de diffusion et de transfert de masse (joints liquides entre combustible et gaine).

Une expérience dans les contrôles de qualité a également été acquise en utilisant la spectrographie optique, la spectrométrie de masse, la diffraction des rayons X, l'analyse de gaz, les techniques chimiques et électro-chimiques.

## 2.2. Matériaux de structure

Une compétence particulière a été acquise à propos d'ORGEL, soit en ce qui concerne les matériaux à phase dispersée et fibreux, soit en ce qui concerne les alliages de zirconium.

En ce qui concerne la métallurgie structurale et physique, les installations existantes ont été indiquées précédemment (cf. 2.1.).

Parmi les études qui peuvent être entreprises, citons les études d'alliages, le développement d'alliages nouveaux, l'influence des rayonnements sur les matériaux.

L'étude des propriétés mécaniques (hors-pile et en pile) peut se faire au moyen de machines de types divers. Nous disposons d'une salle de fluage comportant une batterie de 30 machines. Des machines de fluage en pile sur éprouvettes sont en cours de développement et seront essayées dans ISPRA-1. Elles pourraient ultérieurement être installées dans un autre réacteur.

Dans cet ordre d'idées, citons, parmi les études qui pourraient être entreprises, celles des propriétés mécaniques hors-pile, l'étude du fluage en pile des matériaux de gainage, pour tube de pression, ou cuve.

Des études de corrosion dans l'organique, l'eau et la vapeur d'eau ont été exécutées à propos d'ORGEL dans plusieurs installations existantes :

hors-pile

- . huit boucles à organique à thermosiphon,
- . une boucle de corrosion (400°C, 40 kg/cm<sup>2</sup>),
- . quatre circuits avec chauffage des échantillons,
- . des installations de prétraitement du zirconium;

ou en pile

- . boucle KID (réacteur ISPRA-1) 40 kg/cm<sup>2</sup>, 420°C.

Ces installations peuvent permettre d'étudier l'étude de la corrosion de matériaux de gainage, de tubes de pression, etc., ou l'étude d'artifices pour se prémunir de l'hydruration des alliages de zirconium.

.3. Dépôts de couches

Une expérience a également été acquise dans le dépôt de couches protectrices ou isolantes. Les installations existantes les plus importantes consistent en :

- . une installation de projection à chaud (métaux et céramiques) par flamme oxyacétylénique ou plasma,
- . un appareillage de déposition par plasma H.F. sous vide,
- . un appareillage de déposition sous vide par décomposition des halogénures en phase vapeur.



On peut donc envisager d'étudier et de réaliser, à l'échelle du laboratoire :

- . des dépôts de couches thermiquement isolantes par projection sur les tubes-canaux, les enceintes, etc.,
- . des dépôts de couches minces évitant la corrosion par l'eau, le CO<sub>2</sub>, l'organique sur les différents matériaux de structure, les gaines d'éléments combustibles, etc.,
- . des dépôts de matériaux antifricition,
- . des dépôts de barrières de diffusion gaine-combustible, aux passages de thermocouples des éléments combustibles instrumentés, sur les jonctions entre tube-canal et prolongement hors du réacteur, etc.

#### 2.4. Graphite imperméabilisé

Les techniques d'imperméabilisation du graphite par différents procédés (imprégnation métallique) ont été étudiées, ainsi que les propriétés des graphites obtenues. On peut envisager l'emploi de ces matériaux comme matériau de structure, comme réflecteur, immergé dans l'eau lourde.

#### 2.5. Réfrigérant

Dans le cadre des études de réfrigérants organiques pour ORGEL, une compétence a été développée en matière de décomposition radiolytique et pyrolytique, encrassement, analyses, purification. A l'exception des installations de purification spécifiques de la filière organique, les autres peuvent être utilisées dans le cadre d'études relatives à d'autres filières. Citons :

- . l'élimination des impuretés, pour laquelle existe une colonne de distillation pourvue de divers lits catalytiques pour l'élimination du Cl, S, P., des filtres électrostatiques et magnétiques,

. l'étude des dépôts, pour lesquelles existe un circuit d'encrassement et une ultra-centrifugeuse. On pourrait aussi étudier les dépôts en température et sous rayonnement.

D'autre part, deux sujets pourraient être également abordés : l'étude physico-chimique de systèmes de contrôle par empoisonnement de l'eau lourde (dépôts, injection, purification) et l'étude des procédés de fabrication de l'eau lourde.

### 3. ELEMENTS COMBUSTIBLES

#### 3.1. Etude des éléments combustibles

Les travaux menés dans le cadre ORGEL ont créé une compétence dans le domaine des études conceptuelles et des techniques de calcul de l'élément combustible. Des codes, pour la plupart programmés sur IBM 360, traitent les différents problèmes de l'élément combustible en forme de grappe de 4 à 37 crayons et de tubes concentriques. Ils incluent les aspects hydrauliques du transfert de chaleur et de la répartition des températures, de la distribution des contraintes, du comportement en pile des crayons. Ces codes ont bénéficié d'un support expérimental important pour l'ajustement des paramètres. Leur utilisation peut être étendue sans difficulté particulière de principe.

##### 3.1.1. Hydraulique et transfert thermique

Pour les réfrigérants organiques, les travaux expérimentaux ont eu pour buts la détermination du coefficient d'échange thermique, du flux critique, et de la perte de charge pour des géométries de complexité croissante (circulaire, annulaire, grappe, avec et sans corrugations), l'étude du mélange entre sous-canaux d'une grappe, et de l'influence sur l'encrassement des parois chauffantes, des paramètres thermo-hydrauliques et physico-chimiques.

Ces travaux ont été effectués en partie sur des installations spécifiques aux réfrigérants organiques telles que : la boucle OL1 (450°C, 10 m<sup>3</sup>/h, 10 ata de hauteur de refoulement; pression maximum 50 Kg/cm<sup>2</sup>) et en partie sur des boucles à fluides analogiques disposant d'une instrumentation appropriée, boucles qui ne sont pas spécifiques d'un réfrigérant. Un laboratoire pour la mesure de propriétés physiques des fluides organiques a été monté.

Pour l'eau pressurisée ou bouillante, des travaux expéri-

mentaux concernant l'étude du transfert thermique, avec ou sans ébullition, et l'étude du burn-out, dans une gamme étendue de pressions de températures et de puissances peuvent être effectués avec les installations existantes; elles comprennent des boucles à basses températures et pressions pour étude du mécanisme d'ébullition et de burn-out, et une boucle à eau bouillante et/ou pressurisée 250 atm, 400°C, 2,7 MW.

### 1.1.2. Etudes mécaniques et thermomécaniques

Une compétence s'est créée dans les domaines de l'analyse des contraintes et des déformations, de l'étude de la stabilité thermomécanique des grappes et de la détermination du comportement d'ensemble, en températures et sous charges, de l'élément combustible.

En ce qui concerne l'analyse des contraintes et des déformations des composants, l'expérience s'est concentrée sur les techniques de photoélasticité tridimensionnelle (grilles, entretoises et toutes pièces pouvant être transposées en modèles), sur la méthode des moirés applicable aux microdéformations, et sur l'utilisation de jauges de déformation aux températures élevées.

En outre, il existe un laboratoire analogique, équipé d'un banc rhéométrique et d'une cuve de potentiel, qui peut efficacement participer à ces analyses, principalement en ce qui concerne les aspects thermomécaniques.

Mentionnons également l'existence d'une boucle à réfrigérant organique pour l'étude des instabilités géométriques d'une grappe en fonction de divers paramètres.

L'étude mécanique de maquettes inertes d'éléments combustibles sous charges et sous températures, à court et/ou à long terme, peut être effectuée au moyen de machines de traction-compression, de fours de fluage à atmosphère gazeuse, ces derniers étant également capables d'effectuer des cyclages de température lents.

En outre, une boucle, dont le fluide de service est un liquide organique, peut être effectuée aux études de cyclage rapide en températures d'éléments combustibles divers.

L'analyse des vibrations et des problèmes liés a fait l'objet d'un effort particulier. Le programme des études pourrait comprendre des études de base consacrées d'une part à l'analyse des modes de vibration de composants élémentaires (principalement les crayons combustibles) soumis aux conditions hydrauliques d'une veine réfrigérante et, d'autre part, à la mise au point de capteurs de vibration adaptés aux conditions spécifiques d'emploi, \* il pourrait comprendre également des études d'application globale, où le comportement d'un élément combustible complet est examiné tant sous l'aspect mécanique des vibrations, que sous l'aspect du matage et de l'usure que celles-ci engendrent.

Outre l'équipement d'instrumentation, il existe à cet effet une boucle à eau pour l'étude des vibrations seules, une boucle "technologique" à liquide organique ( $400^{\circ}\text{C}$ ,  $40 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ), permettant l'essai global en débit et en température de l'ensemble "éléments combustibles - canal", et des machines spéciales reproduisant les paramètres du matage et de l'usure pour l'examen de ces phénomènes entre matériaux divers. Ces moyens ont déjà été exploités à propos des éléments combustibles ORGEL.

Enfin, certains problèmes de chargement-déchargement sont très liés à la structure de l'élément combustible. Citons tout particulièrement les organes de guidage dans le canal, les dispositifs d'appui dans le canal et les extrémités d'éléments en liaison avec le grappin de prehension. Une installation adaptée à l'étude de ces problèmes existe.

---

\* ainsi que des chaînes de mesure de cross-correlation entre excitations et vibrations et d'analyse spectrale.

## 1.2. Etudes de fabrication et contrôles

### 1.2.1. Soudage

La fabrication de quelques éléments combustibles prototypes pour le programme ORGEL destinés à des irradiations, (bien qu'elle soit normalement en marge de la vocation d'Euratom), a créé une compétence concernant les problèmes de soudage.

Un équipement varié, comprenant des appareils de bombardement électronique, d'argon arc, d'hélium arc, de haute fréquence, de flash welding, de soudure par résistance, de soudure ultrasons, de magnéformage, est disponible.

### 1.2.2. Contrôles non destructifs

La préparation des éléments combustibles SAP/UC dans le cadre ORGEL a permis de développer des méthodes de contrôle non destructifs transposables à d'autres concepts; citons les contrôles sur gaines lisses et ailetées, comprenant les mesures dimensionnelles des diamètres interne et externe, de l'épaisseur (rayons beta, rayons X) et de la flèche.

Les défauts sont détectés par ultrasons, courants Foucault, rayons X, liquides Pénétrants, et comparés à des défauts artificiels calibrés.

Citons encore des techniques de contrôle des crayons de combustible par radiographie rotative, étanchéité à l'hélium à froid et à chaud et l'existence de bancs de contrôle dimensionnel et d'une enceinte d'étanchéité à chaud utilisables pour les éléments combustibles complets.

## 1.3. Instrumentation

Les techniques de fabrication, d'étalonnage et d'emploi en pile sont bien en main et aussitôt transposables, qu'il s'agisse de la mesure des températures par thermocouples sur

gainés ou au coeur du combustible (choix des constituants : gainage, isolant, soudure; passage à travers les bouchons des crayons jusqu'aux boîtes de liaison miniaturisées) ou de la mesure des flux neutroniques (flux intégral par moniteurs; flux instantané par collecteurs).

Il en va de même pour la technique des strain-gages déjà mentionnée.

### 3.4. Irradiation de matériaux en capsule, de crayons et d'éléments combustibles prototypes

Une certaine compétence a été acquise à propos des irradiations en capsule de matériaux effectués dans quelques réacteurs de la Communauté, tant en ce qui concerne le calcul de capsules, que la préparation des expériences. Les installations du réacteur ISPRA I de l'Etablissement d'Ispra, et particulièrement la boucle DIRCE (fluide de service : organique) ont permis d'élargir cette compétence à l'irradiation de crayons de combustible gainé (essentiellement UC-SAP). En ce qui concerne les assemblages de crayons en grappes, la préparation d'irradiations d'éléments UC/SAP dans ESSOR est en cours.

Pour l'étude du comportement en pile des matériaux combustibles (UC,  $UO_2$ , alliages U ..), l'irradiation de crayons gainés et l'irradiation d'assemblages de combustible (dans ESSOR par exemple), les moyens suivants existent :

- atelier de fabrication de crayons et éléments combustibles
- laboratoire de contrôle (cf. 3.2.)
- laboratoire d'instrumentation (cf. 3.3.)
- installations de remplissage métaux liquides (Na et Pb) pour crayons et capsules
- boucle DIRCE (à fluide organique)  $10 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $300^\circ\text{C}$

Il faut leur ajouter le réacteur ESSOR, dont on prépare actuellement la montée en puissance, pour l'irradiation d'éléments prototypes. Ce réacteur possède 12 sites pour cellules expérimentales dont le plan d'utilisation - révisable - s'éta-

blit aujourd'hui ainsi :

- 1 boucle à 8 sites de 12 MW et 2 boucles à 1 site de 1,8 MW, réfrigérées par liquide organique ( $40 \text{ Kg/cm}^2$ ;  $450^\circ\text{C}$ )
- 1 boucle à 1 site de 1,5 MW (boucle CART) pour un réfrigérant aqueux à changement de phase ( $70 \text{ kg/cm}^2$ ;  $300^\circ\text{C}$ )
- 1 site disponible

Les caractéristiques du réacteur et des circuits sont données en annexe.

#### .5. Examens post-irradiatoires

Le laboratoire chaud d'Essor, ADECO, en cours d'équipement, permettra l'examen d'éléments combustibles complets, ainsi que leur démantèlement. Sa protection est prévue pour une activité maxima de 100.000 curies de 1 Mev; il est équipé d'une batterie de 6 télémanipulateurs (jusqu'à 40 kg) et d'un télémanipulateur lourd (OTER 2300), l'ADECO dispose aussi d'un banc de tronçonnage perfectionné capable de traiter tout type d'élément combustible.

Outre l'ADECO, l'Etablissement d'Ispra possède un laboratoire de moyenne activité, en voie d'achèvement, LMA, où pourront être effectuées les opérations de démantèlement de crayons et de capsules, ainsi que des examens métrologiques et métallographiques, des essais mécaniques, des mesures de caractéristiques physiques et de diffusion de gaz ainsi que des analyses de burn-up et de gaz de fission.

### 4. ELEMENTS STRUCTURELS DU REACTEUR

#### .1. Canaux pour réacteurs à tubes de force

##### Etudes de base

Par études de base, on entend celles orientées vers la connaissance des semi-produits (tronçons de tubes), vers leur transformation à l'état de tube-canal (jonctions) et vers leur



contrôle et opération.

Une compétence a été acquise à propos du SAP pour ce qui concerne l'étude des propriétés mécaniques des tubes et les contrôles de réception; elle peut être étendue à d'autres matériaux et tout particulièrement aux alliages de zirconium dans les domaines du fluage, de la fatigue sous contrainte thermique, de la fragilisation (solicitations rapides, fractures et leur propagation) et de l'influence des défauts.

En ce qui concerne les jonctions entre tubes canaux et prolongements en acier, diverses techniques ont été développées et le matériel permettant leur mise en oeuvre et les essais de fabrication existe:

- jonctions mécaniques, en particulier mandrinage
- jonctions métallurgiques, par martelage ou par explosion.

### Etudes appliquées

La compétence existe pour réaliser l'étude mécanique d'un modèle de canal bien défini, pour effectuer des essais à l'échelle 1 de maquettes de canaux (endurance, vibrations, simulation de scram) et pour préparer l'irradiation de canaux prototypes (dans ESSOR notamment). De telles études appliquées ont été réalisées pour les canaux en SAP et sont en cours pour les canaux en ZrNb destinés à ESSOR, canaux dont les modèles en vraie grandeur ont subi de larges essais dans la boucle technologique à liquide organique.

### Irradiations

La conception d'ESSOR a été faite en vue de l'irradiation de canaux complets dont le comportement pourra être contrôlé dans le réacteur, grâce à des systèmes de barres en cours de développement, faisant appel aux ultrasons et aux rayons X.

Les études après irradiation peuvent être effectuées dans le complexe ESSOR grâce aux équipements de l'Atelier des Tubes de Force Irradiés (ATFI) (niveau maximum d'activité admissible : 7000 curies de 1 Mev), qui permettent d'examiner un canal entier. Citons en particulier une tronçonneuse à molette, installée dans la cellule de tronçonnage sur un banc vertical de 8 m de haut, permettant de découper le tube extérieur d'un canal sans atteinte au tube intérieur. Ce dernier étant souvent le tube expérimental, peut ainsi être dégagé, puis observé par diverses caméras de télévision dans toute son intégrité. L'ATFI est à notre connaissance le seul dispositif d'examen de structures irradiées de cette taille existant en Europe.

## 2. Systèmes de manutention

Des essais de composants de machines de chargement et de dispositifs de fermeture des canaux peuvent être effectués sur un dispositif adapté aux réacteurs verticaux refroidis soit par organique, soit par eau (ce dispositif a déjà été mentionné en 3).

## 3. Cuves de réacteurs

Les contraintes auxquelles sont soumis une cuve et son isolement thermique, peuvent être analysées par des laboratoires spécialisés en études photoélastiques et en analogie rhéoélectrique.

Il existe, par ailleurs, une machine d'essais de fatigue adaptée pour traiter des modèles de cuve et pouvant également analyser le comportement de leurs joints singuliers en complément avec une instrumentation extensométrique.

Il est, enfin, possible d'étudier les problèmes d'inspection de cuves.

## 5. ETUDES SUR LA SECURITE DES PILES A EAU LOURDE

Un certain nombre d'études a été exécuté, tant à propos du programme ORGEL - en particulier en ce qui concerne la sécurité des canaux ou les problèmes d'éjection - qu'en appui à des programmes à refroidissement à sodium ou aqueux.

Une compétence a été développée dans l'étude de ces phénomènes, et pourrait être utilisée. Citons, par exemple :

- . L'étude de vidange rapide par éjection du réfrigérant du canal après surchauffe ou dépressurisation, avec ou sans circulation du réfrigérant, avec ou sans chauffage ou surchauffage.
- . L'étude du mécanisme de la recondensation et de la production d'impulsion de pression par condensation, qui peut être effectuée à l'aide d'une boucle à visualisation pour prise de film à haute vitesse, d'une boucle (déjà citée) à chauffage électrique pour études à convection forcée et d'une boucle à visualisation pour étude de la recondensation.

Des dispositifs d'instrumentation rapide (pressions, températures, fraction de vide) sont disponibles.

Un autre type d'études qui peut être entreprise concerne les études d'accidents provoquant des générations de pics de pression et la formation de missiles à l'intérieur du coeur, provenant par exemple de l'éclatement d'un canal, dans le cas d'un réacteur à tube de force, ou de la réaction thermique et chimique violente dans un coeur.

Pour ce faire, on dispose de l'installation BETULLA, adaptée à l'étude de la rupture de canaux, et d'un dispositif d'essais de réaction entre eau et combustible ou matériau de structure à haute température. En outre, l'instrumentation

ultra-rapide (analyse des contraintes, pressions, températures, visualisation) est disponible.

On pourrait également entreprendre certaines études de cuves, sous l'angle de la sécurité : réponse à des sollicitations rapides, essais sur modèles, propagation des fractures (laboratoire FRAGOLA).

Enfin, des études de "reliability" d'instruments de mesure et de composants du réacteur pourraient être entreprises au moyen de bancs d'essais d'instruments et de composants, qui pourraient être étendus en liaison avec des utilisateurs éventuels.

## 6. RECYCLAGE DU PLUTONIUM

Le recyclage du plutonium permettrait d'accroître le taux de combustion des éléments combustibles. Au cas où son emploi serait envisagé dans l'un ou l'autre type de réacteur à eau lourde, certaines études devraient être entreprises : en physique du réacteur, études théoriques et expérimentales qui ont déjà été mentionnées au Chapitre 1.

En ce qui concerne l'extraction du Pu, il pourrait être utile d'examiner l'adaptation à l'UC de la voie aqueuse prévue industriellement pour l' $UO_2$ .

Par ailleurs, la conception d'un coeur où l'on recycle le Pu peut entraîner l'élaboration de combustibles mixtes ou de spikes. Dans ce domaine, EURATOM peut apporter la compétence et les installations de l'établissement de Karlsruhe, spécialisé dans l'étude des combustibles au Pu.

## 7. THORIUM

Il n'existe pas à EURATOM de compétence spécialisée dans l'étude du thorium. Toutefois, au cas où ce combustible serait jugé intéressant pour les filières à eau lourde, il est clair, d'après les possibilités discutées précédemment (chapitres 1 à 5), que son étude pourrait être entreprise, tant dans le domaine de la physique du réacteur, déjà cité, que dans le domaine des matériaux.

## 8. ETUDES DE CENTRALES A EAU LOURDE

### 8.1. Etudes de conception et d'optimisation

La conception d'un projet de centrale met en oeuvre un grand nombre de techniques, de résultats expérimentaux, de connaissances diverses. Ces ensembles de données sont traités au moyen de procédés qui permettent d'évaluer l'influence des divers paramètres sur les performances techniques et économiques de l'installation.

Cette compétence a été mise sur pied à l'occasion du projet ORGEL et de la réalisation d'ESSOR. Parmi les moyens principaux utilisés, citons le code ORION, qui constitue le modèle complet de la centrale ORGEL. De plus, ce code est susceptible de recevoir les fonctions de prix des différents équipements tels qu'ils résultent de consultations près de fournisseurs.

A côté de ce code d'ensemble, de nombreux codes spécialisés traitant de problèmes de dimensionnement ou de fonctionnement de sous-ensembles en fonction de l'installation complète, ont été développés.

Cette compétence pourrait être adaptée, selon la demande, soit à d'autres types de réacteurs à eau lourde, soit à des études comparatives de divers types.

## 2. Comportement dynamique

Pour les réacteurs de grandes dimensions comme les réacteurs à eau lourde, les problèmes d'instabilité spatiale peuvent devenir importants. Il s'agit de l'instabilité due au xenon, au coefficient de température et de vide du réfrigérant et au couplage en parallèle d'un grand nombre de canaux qui peuvent d'ailleurs intervenir simultanément et interagir entre eux. C'est le cas, tout particulièrement, des réacteurs à eau lourde réfrigérés par eau légère bouillante.

Certains de ces problèmes ont été étudiés à Ispra à l'aide de codes pour l'étude de la dynamique unidimensionnelle avec des canaux non bouillants. Le problème du canal avec écoulement bi-phasé et de la dynamique bidimensionnelle pourrait être traité.

En ce qui concerne l'étude globale de centrales, divers codes ont été élaborés et mis en machine, tant sur équipement digital qu'analogique; en particulier, le code mis au point pour ESSOR sera testé lors de la montée en puissance de ce réacteur.

A N N E X E

REPertoire DES PRINCIPAUX EQUIPEMENTS OU INSTALLATIONS DISPONIBLES

POUR DES ETUDES SUR LES REACTEURS A EAU LOURDE



Nota : Pour des raisons pratiques ces installations sont groupées en fonction de leur localisation et non suivant le plan du document de couverture.

## LE REACTEUR ESSOR

- ESSOR est conçu pour l'irradiation et les examens post-irradiation des composants de coeurs de réacteurs, modérés par l'eau lourde.
- Sa partie active est composée d'une zone expérimentale centrale comprenant 12 sites pour irradiation de cellules d'essai, et d'une zone nourricière annulaire où sont logés 16 éléments combustibles hautement enrichis destinés à rendre le réacteur critique et à réaliser, dans la zone expérimentale, le flux neutronique désiré.
- Le chargement et le déchargement des éléments combustibles et des canaux se fait à l'arrêt du réacteur.
- ESSOR est pourvu de 2 laboratoires chauds, l'un (appelé ADECO) pour l'examen des éléments combustibles, et l'autre (appelé ATFI) pour l'examen des tubes de canaux.
- Actuellement, 10 sites expérimentaux sont connectés sur trois circuits de refroidissement par liquides organiques, appelés EK2, EK3 - desservant un site chacun - et MK5, desservant en parallèle les huit autres sites.
- Un circuit de refroidissement par un mélange eau-vapeur, appelé boucle CART, est connecté sur l'un des sites restants.
- Le dernier site n'est desservi par aucun circuit.



CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES SITES EXPERIMENTAUX

|   |  |
|---|--|
| Axe   | = vertical   |
| Longueur active de l'ame (des éléments nourriciers) | = 1540 mm  |
| Longueur maximale du canal expérimental             | = 3600 mm  |
| Longueur du canal complet                           | = 7800 mm  |
| Diamètre maximal du tube de calandre                | = 125 mm environ   |
| Diamètre maximal de l'élément combustible           | = 110 mm environ   |
| Gaz d'isolement du tube de calandre                 | = azote  |
| Flux de neutrons thermiques                         |  |
| - dans un élément combustible à Uranium naturel     | = $1 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$ (en moyenne) |
| - dans le modérateur                                | = $1,5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$ .          |

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES CIRCUITS A REFROIDISSEMENT PAR ORGANIQUE

Type de circuit = 1 circuit primaire (organique expérimental)  
1 circuit secondaire (Thermip P 2/5 200)  
1 aérotherme à circulation forcée

Caractéristiques communes aux circuits primaires

- Pression maximale = 40 kg/cm<sup>2</sup>  
- Température maximale = 450°C  
- Matériau = acier au carbone (0,3% Mo)  
- Système de préchauffage = à la vapeur

Autres caractéristiques

|  |   |                      |                   |                   |
|--|---|----------------------|-------------------|-------------------|
| - Débit maximal                          | = | $\frac{EK2/EK3}{76}$ | $\frac{MK5}{612}$ | m <sup>3</sup> /h |
| - Puissance maximale                     |   | 1,8                  | 12                | MW                |
| - Diamètre des canalisations principales |   | 80                   | 200               | mm                |
| - Volume total d'organique               |   | 2,40                 | 7,60              | m <sup>3</sup>    |

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA BOUCLE CART A REFROIDISSEMENT PAR MELANGE EAU-VAPEUR

Type de circuit = 1 circuit primaire (eau déminéralisée)  
1 circuit secondaire (eau traitée) en dérivation sur le circuit secondaire de la zone nourricière

Caractéristiques du circuit primaire

Matériau = acier inoxydable 304 L  
Pression maximale (sortie du réacteur) = 71 ata  
Température maximale = 300°C  
Débit maximal = 24 m<sup>3</sup>/h  
Puissance maximale = 1,5 MW  
Diamètre des canalisations = 42 et 60 mm

EQUIPEMENTS PRINCIPAUX DU LABORATOIRE CHAUD POUR ELEMENTS COMBUSTIBLES (ADECO)

Cellule de travail (étanche  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$ ) (hauteur 7,10; 10,4 x 3,2 m)

- Protection contre  $10^5$  curies de 1 MeV
- 6 télémanipulateurs "Master-Slave" (25 kg nominal, pouvant aller à 40 kg)
- 1 télémanipulateur OTER 2300 (300 kg dans toutes les positions et, dans l'axe du fût télescopique, jusqu'à 1000 kg)
- 3 fenêtres d'observation
- 3 positions pour périscopes
- 1 pont roulant de 2 tonnes
- 1 poste de cisailage
- 1 potence à mandrin tournant présentant les éléments devant les postes de la cellule d'observation.
- 1 poste de lavage
- 8 postes de stockage
- 1 poste de tronçonnage des structures d'éléments (9 vitesses d'avance et 9 vitesses de coupe)
- 1 banc de fraisage (transversal et longitudinal) de grignotage et de démontage des structures
- 1 poste de mise en conteneurs des crayons combustibles
- petits outillages variés

Cellule d'observation (étanche  $\beta$   $\gamma$ ) (hauteur 3,6; 3,2 x 2,4 m)

prévue pour examens radiographiques et neutrographiques

Cellule de conditionnement (étanche  $\beta$   $\gamma$ ) (hauteur 3,6; 8 x 3,2 m)

- 1 fenêtre d'observation
- 2 télémanipulateurs "Master Slave"
- 1 pont roulant de 1 tonne
- divers supports de conteneurs

Autres cellules

- 2 cellules à 1 fenêtre (hauteur 3,6; 3 x 3,2 m)
  - 1 cellule à 2 fenêtres (hauteur 3,6; 8 x 3,2 m)
- actuellement non équipées

ESSOR (Page 6)

EQUIPEMENTS PRINCIPAUX DU LABORATOIRE CHAUD POUR TUBES CANAUX (ATFI)

(Etanche  $\beta \gamma$ )

- Protection contre 7000 Curies 1 MeV

Equipements communs aux 3 cellules

- 1 télémanipulateur Alcatel de 1000 kg
- 1 palan de 500 kg
- 1 pont roulant de 2 tonnes
- 2 caméras de télévision pour examen de l'extérieur des canaux

Cellule d'observation et de mesures (hauteur 10,70 m)

- 1 caméra de télévision pour l'examen interne

Cellule de tronçonnage (hauteur 10,70 m)

- 1 fenêtre d'observation
- 2 télémanipulateurs
- 1 tronçonneuse à molette (sans copeaux)  
sur banc vertical de 8 m de haut

Cellule pour examens (hauteur 4,8)

- 2 fenêtres d'observation
- 4 télémanipulateurs
- banc d'essais sous pression (300 kg/cm<sup>2</sup>)
- banc d'étanchéité (test à l'hélium 10<sup>-4</sup>kg/cm<sup>2</sup>)

(L'équipement de ces cellules sera complété progressivement, l'examen des premiers canaux irradiés n'étant pas prévu avant 1970).

AUTRES DISPOSITIFS PERMETTANT L'ETUDE DE PROBLEMES POSES PAR LES REACTEURS A EAU LOURDE

- Eléments combustibles de la zone nourricière

Du type BR-2 à 6 couronnes concentriques (uranium enrichi à 90%) refroidis par de l'eau lourde à 80°C (au maximum).

Quelques couronnes pourraient être substituées par des plaques contenant du Thorium pour production d'U233.

- Circuits d'eau lourde

(zone nourricière : 27 MW)

(zone expérimentale : 3,6 MW)

Pourraient servir à l'étude en pile de systèmes d'empoisonnement et d'épuration de l'eau lourde.

PHYSIQUE DU REACTEUR

| Installations existantes  | Problèmes ayant déjà été étudiés   |
|---|--|
| <p>1) <u>EXPO</u></p> <p>Pile exponentielle<br/>Diamètre cuve: 1,47m<br/>Hauteur cuve: 3,3m<br/>Source de neutrons Am Be; puissance de <math>2,5 \cdot 10^7</math> n/sec<br/>L'eau lourde peut être amenée à 70°C</p>   | <p>Mesure du Laplacien matière de réacteurs à eau lourde</p>   |
| <p>2) <u>ECO</u></p> <p>Réacteur à puissance nulle<br/>Diamètre cuve: 3m<br/>Hauteur cuve: 4,225m<br/>Élément combustible de référence: grappe à 19 crayons en uranium (naturel) métallique gainés en aluminium<br/>Diamètre des crayons: 12mm<br/>B m référence: compris entre 3 et 6 m<sup>-2</sup> suivant pas du réseau et nature du réfrigérant dans combustible de référence<br/>L'eau lourde pourra être amenée à 70-80°C début 1968</p> | <p>Mesure du Laplacien matière<br/>Mesure de structure fine et des paramètres détaillés<br/>Mesure du coefficient de température de l'eau lourde</p> |
| <p>3) <u>OSCILLATEUR</u></p> <p>Course: 2 à 3m<br/>Charge: 250 à 300 kg<br/>Vitesse de translation: 0,2 à 1 m/sec<br/>Temps d'arrêt: 0,15 sec<br/>Reproductibilité de position d'arrêt: <math>\pm 3</math>mm</p>  | <p>Mesure par oscillation des caractéristiques nucléaires d'échantillons et de combustibles</p>  |

4) TETES CHAUFFANTES

Boucle hors-pile

Puissance: 120 kw

Température max. de fonctionnement: 300°C

Pression max. de fonctionnement: 20 kg/cm<sup>2</sup>

Pression max. "design": 30 kg/cm<sup>2</sup>

Contenu total organique: 450 litres

Débit: 30 m<sup>3</sup>/h

Circuit en pile

9 canaux en Zr-2 commutables (1/5/9)

Circulation en chaussette

Elément combustible à 19 crayons en uranium

métal (naturel) gainé SAP

Diamètre des canaux: 78mm

Mesure du coefficient de température d'un canal  
par la méthode des substitutions progressives  
(1 tête; 5 têtes, 9 têtes)



## MATERIAUX ET COMBUSTIBLES

### Préparation d'alliages et de céramiques

Fours à fusion ou traitement thermique:

- à arc
- à induction (100 KVA)
- à bombardement électronique (100 KVA)
- à bain de sel
- à résistance (Ta, graphite)

Appareillage "splat-cooling"

Appareillage pour produire des monocristaux  
(fusion par zône)

Mélangeurs pour poudres

Presses pour frittage sous charge à chauffage  
par induction (100 KVA)

### Transformations métallurgiques

Presse à extrusion (300 t)

Laminoir (hauteur: 10 cm; largeur: 20 cm)

Marteau-pilon

Machine à restreindre (swaging; 20 à 2mm)

Banc d'étirage (3m)

### Examens structurels

Métallographie (polissage, microscopes)

Microscope électronique Philips EM 100

Microscope électronique Philips EM 300

Microscope électronique Siemens Elmiscope

Microscope ionique (Metioskop)

Microsonde électronique (Cameca)

Microanalyseur ionique (Cameca)

Rayons X (3 générateurs, plusieurs caméras également  
pour haute température)

### Propriétés physiques

Mesures de résistivité (jusqu'à l'azote liquide)

Frottement interne (nombreux appareils couvrant tout

le spectre de fréquences d'intérêt 1 couple/sec  $\pm$  Meg.Cy/sec)

Intervalle des températures: de l'hélium liquide à 600°C

Dilatométrie

Conductibilité thermique

Analyse thermique différentielle

Mesure de force électromotrice

Compatibilité, corrosion et traitement de surfaces

Boucle de corrosion pour liquides organiques  
(acier inoxydable, 500°C, 40 kg/cm<sup>2</sup>, 12 m<sup>3</sup>/h, 10 m/s  
dans 3 sections d'essai de 850mm)

8 boucles hors-pile à thermo-siphon, liquides  
organiques, acier inoxydable, 420°C, 40 kg/cm<sup>2</sup>,  
30 cm/μ c)

Autoclave pour corrosion dans les liquides organiques,  
l'eau pressurisée ou la vapeur d'eau

Equipement pour corrosion en atmosphère contrôlée, sous  
tension

6 autoclaves pour corrosion avec liquides organiques,  
vol. 5 l, 450°C, 60 kg/cm<sup>2</sup>, acier inoxydable

Boucle hors-pile et circulation forcée, à liquide  
organique, acier inoxydable, 420°C, 40 kg/cm<sup>2</sup>, 4 m<sup>3</sup>/h;  
possibilité de chauffage des échantillons

Un autoclave pour corrosion dans la vapeur d'eau,  
en construction

Potentiostat pour essais électrochimiques

Appareillage pour:

- préparation des surfaces
- déposition par pistolet
- déposition par plasma-jet
- évaporation sous vide (bombardement électronique)
- décomposition en phase gazeuse

Une boucle en pile (KID), 420°C, 40 kg/cm<sup>2</sup>, section  
d'essai 14mm diamètre, flux 10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup> sec

Propriétés mécaniques diverses

Machines de dureté, de macrodureté à chaud, de micro-  
dureté à chaud, sous vide

Machines de traction (avec enregistrement électronique)  
36 postes de fluage

1 machine de fluage et relaxation sous vide

1 four de fluage pour éléments combustibles

Machines de fatigue - tables vibrantes

Laboratoire de photoélasticimétrie

Boucle de cyclage thermique pour éléments combustibles  
(fluide de service organique, 36 m<sup>3</sup>/h, durée du  
cycle 15 minutes)

Contrôles non-destructifs

Equipement pour mesures dimensionnelles des gaines  
Banc pour mesures dimensionnelles des éléments complets

Installations de radiographie rotative  
Equipement pour tests à hélium

Equipement de détection par:

- courants de Foucault
- Rayons X
- rayons  $\beta$
- liquides pénétrants

Fabrications diverses

Boîtes à gants

Equipements pour soudage:

Laboratoires pour capsules d'irradiation, pour crayons  
expérimentaux et éléments prototypes

- bombardement électronique
- argon et hélium avec haute fréquence
- étincelage
- résistance
- ultrasons
- magnéformage

Gaineuse hydraulique

Installations pour instrumentation en thermocouples  
et collecteurs

Ensemble de fours pour fabrication d'échantillons d'essais  
en graphite imprégné par différents matériaux:

- Four pour imprégnation, 3 litres, 40 at.
- Four pour imprégnation d'échantillons, 20 cm<sup>3</sup>, 100 at.
- Four pour brasures, 5 kw
- Four sous vide, 3000°C, 1 l.

Dispositifs d'irradiation de combustible dans le réacteur

ISPRA-1

Boucle KID (voir sous compatibilité)

Boucle DIRCE:

Boucle KID-2 (en construction): 420°C, 40 kg/cm<sup>2</sup>, 5 m/sec,  
diam. section d'essais 60mm, mise en service prévue pour  
avril 1968

- fluide de service organique (HB40 actuellement)
- température: 320°C avec HB40
- pression: 20 kg/cm<sup>2</sup>
- débit: 9 m<sup>3</sup>/h
- puissance: 70 KW
- section d'essai: longueur 50 cm
- tuyauterie: acier au carbone

Rigs dans ISPRA-1:

- (XCPR-2): 3 capsules,  $\phi$  16x200mm, 30°C, flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec
- (XCPR-3): chambre d'irradiation  $\phi$  40x90mm, 30°C,  
flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec

MATERIAUX ET COMBUSTIBLES (Page 4)

Laboratoire de moyenne activité  
(mise en service prévue pour milieu 1968)

Démantèlement des crayons et des capsules

Métrologie

Puncture test, mesure de diffusion et analyse des gaz de fission

Mesures de densité, dilatation, conductivité

Métallographie

Essais de dureté, traction et résilience

Analyse du burn-up (γ, scanning et radiochimie)

Cellules chaudes

Cellule chaude de 1 m<sup>3</sup> pour travaux de démantèlement  
Activité max.: 1 Curie équivalente

Cellule chaude alpha pour dosage du Pu (détermination du taux de combustion d'éléments combustibles) -  
10 Curies équivalentes de Co; télémanipulateurs Hobson M7; dimensions "junior cave"

Laboratoire alpha équipé (dosage du Pu)

TECHNOLOGIE ET ECHANGES THERMIQUES

| Installations existantes  | Problèmes ayant déjà été étudiés   |
|---|--|
| <p>- Boucle technologique<br/>Matériau : acier au carbone<br/>Température : 450°C<br/>Pression max. : 40 atm.<br/>Débit nominal : 70 m<sup>3</sup>/h.</p> | <p>Etude technologique à l'échelle 1 d'un canal<br/>ORGEL</p>            |
| <p>- Banc de métrologie</p>   | <p>Métrologie des tubes de SAP et Zr.</p>                                |
| <p>- Banc de contrôle et rayons X</p>   | <p>Mesure de défauts dans tubes et qualité des jonctions</p>             |
| <p>- Fours de fluage pour tronçons de tubes (12)</p>  | <p>Rupture au fluage de tubes SAP</p>                                    |
| <p>- Appareil pour essais de fatigue sous contraintes thermiques</p>  | <p>Essais sur échantillons SAP.</p>                                      |
| <p>- Machine de télésoudure</p>   | <p>Soudage à distance des prolongements de canaux ORGEL sur ESSOR</p>    |
| <p>- Machine à mandriner</p>  | <p>Réalisation jonctions mandrinées SAP-acier et Zircalloy 2 - acier</p> |
| <p>- Marteleuse</p>   | <p>Réalisation jonctions Zircalloy-acier</p>                             |
| <p>- Bancs d'essais divers pour jonctions (étanchéité, cyclage thermique)</p>   | <p>Essais de jonctions</p>   |

TECHNOLOGIE ET ECHANGES THERMIQUES (Page 2)

|  |   |
|--|---|
| <p>- Fours de fluage verticaux - long. 4m.</p>   | <p>Essais sur jonctions SAP-acier. Essais sur modèles éléments combustibles</p>   |
| <p>- Machines d'usure (2 machines)</p>   | <p>Usure entre matériaux en contact dans les canaux: SAP-SAP, Zircalloy-SAP, Zircalloy-Graphite, etc.</p>   |
| <p>- Boucle à eau<br/>Débit max. : 100 m<sup>3</sup>/h.<br/>Température ambiante                      Charge: 9 atm</p>                    | <p>Etudes hydrodynamiques sur maquette d'éléments combustibles, vibrations éléments combustibles</p>  |
| <p>- Boucle à Dowtherm<br/>Débit max.: 50 m<sup>3</sup>/h.<br/>Température max. : 300°C<br/>et banc d'essais pour crayons combustibles</p> | <p>Stabilité thermomécanique éléments combustibles. Tenue aux contraintes thermiques et mécaniques combinées sur crayons combustibles</p>                               |
| <p>- Machine pour essais de manutention éléments combustibles</p>  | <p>Essais de composants de machine de chargement et fermeture du canal en milieux organiques.</p>   |
| <p>- SYCOMORE    débit : 10 m<sup>3</sup>/h.<br/>                  température max. : 450°C<br/>                  acier au carbone</p>     | <p>Essais de composants d'un circuit organique (garnitures de pompes, instrumentation)</p>  |
| <p>- Boucle OL1    Mat. acier inoxydable<br/>                  température max. : 450°C<br/>                  pression max. : 50 atm.</p>  | <p>Etude du transfert thermique en milieu organique (gainés ailetés, gainés corrugués, "points chauds").</p>  |
| <p>- Boucle à eau</p>  | <p>Etude de la crise de transfert de chaleur, mise au point de détecteurs de crise et d'autres instrumentations, mise au point de sections d'essais.</p>                |
| <p>- Boucle à eau bouillante ou pressurisée<br/>                  250 bars<br/>                  2,7 MW</p>                                | <p>Etude du transfert thermique et de la crise à haute pression (pour réacteur à eau pressurisée). Etude de la crise avec ou sans bandes vrillées (type AEG-SNECMA)</p> |

TECHNOLOGIE ET ECHANGES THERMIQUES (Page 3)

|   |   |
|---|---|
| - Boucle d'éjection d'eau (50 bars - 250°C) | Ejection d'eau par ébullition en transitoire  |
| - Boucle eau à visualisation                | Mécanisme de l'ébullition et recondensation, production d'ondes de pression par condensation.   |
| - BETULLA                                   | Essais d'éclatement de tubes en pression (maquette à l'échelle 1 du coeur ESSOR) - canaux ORGEL - canaux CIRENE   |
| - Laboratoire essais dynamiques (FRAGOLA)   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Soudure par explosion : bouchons de gaines d'éléments combustibles, jonctions Zircalloy-acier entre tubes de force et prolongement.</li><li>- Essais dynamiques sur structures.</li></ul> |

REFRIGERANT

| Installations existantes  | Problèmes ayant déjà été étudiés   |
|---|--|
| <u>Colonne à distiller</u><br>Acier inoxydable, 400°C, pression atmosphérique (et vide), 40 kg/h. | Distillation et déchloration de fluides organiques frais et usagés.  |
| <u>Circuit d'encrassement</u><br>Acier inoxydable, 500°C, 15 atm, 3 m <sup>3</sup> /h.            | Sera mis en service en janvier 1968 - Servira à étudier l'influence des HHB sur l'encrassement de parois chaudes |
| <u>Boucle de purification</u><br>Acier inoxydable, 450°C, 50 atm, 30 l/h.                         | A servi à tester en régime dynamique l'attapulgite et les catalyseurs de désogénération et de déchloration.      |
| <u>Centrifugeuse</u><br>Acier inoxydable, 180°C, pression atmosphérique 2,5 l/h, 50.000 rpm.      | Détermination du profil de répartition des particules solides en suspension dans les terphényles.                |
| <u>Accélérateur Van de Graaf</u><br>Horizontal, E = 2 MeV, P = 0,5 kw<br>I : 250 $\mu$ A          | Déterminer les G sous électrons dans terphényles; la radiolyse de différents fluides.                            |



CHIMIE ANALYTIQUE

| Installations existantes  | Problèmes ayant déjà été étudiés   |
|---|--|
| <p>- <u>Laboratoire de spectrographie optique</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>1 spectrographe Jarrel-Ash Mark III de 2,40 m de distance focale</li><li>1 spectrographe Jarrel-Ash Mark IV de 2,40 m de distance focale</li><li>1 spectrographe Jobin et Yvon Z4</li><li>1 spectrographe d'absorption atomique</li></ul> | <p>Impuretés dans les combustibles non irradiés et les matériaux de structure (0,1 à 100 ppm)<br/>Analyse isotopique de l'Uranium</p> <p>Impuretés dans H<sub>2</sub>O et D<sub>2</sub>O<br/>Dosage précis des impuretés dans tout matériau (0,01 ppm à 100 ppm).</p>  |
| <p>- <u>Laboratoire de spectrométrie de masse</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>2 spectromètres Atlas GD-150- et CH 4 (basse resolution)</li><li>1 spectromètre CEC-21-110 (moyenne resolution)</li><li>1 spectromètre MS 9 (haute resolution)</li></ul>  | <p>Analyse des gaz organiques ou inorganiques.</p> <p>Impuretés inorganiques dans tout matériau ; analyse organique par ionisation de champ.<br/>Composés organiques ; mesure des masses exactes ; identification de composés inconnus.</p>  |
| <p>- <u>Laboratoire de rayons X</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>2 spectromètres à fluorescence Philips (60 KV et 100 KV)</li><li>2 appareils CGR à emission directe</li><li>1 diffractographe Philips (+ 2 chambres à haute température)</li></ul>  | <p>Impuretés et constituants majeurs dans les matériaux (expérience particulière dans les aciers SAP, Zr, Uranium, solutions aqueuses, caloporteurs organiques).<br/>Macrosonde ; examen des soudures et brasures<br/>Analyse des éléments légers (Z inf. à 11).<br/>Analyse quantitative des phases cristallines dans les systèmes U-C-O-N; Etude à haute température (jusqu'à 2.400°C) des systèmes U-C-O.</p> |

- Laboratoire d'Analyses chimiques

3 appareils pour analyses de gaz dans les métaux, alliages et céramiques.

appareil de dosage des traces  $H_2$  et  $H_2O$  dans gaz "inertes".

matériels d'analyse chimiquement électrochimique.

$H_2$  et  $O_2$  dans le SAP et les alliages de Zr (y compris échantillons irradiés)

$H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  dans le carbure d'Uranium et les aciers

CENTRE DE CALCUL (CETIS)

| Installations existantes    | Problèmes ayant déjà été étudiés   |
|-----------------------------|--|
| IBM 360/65                  | Calculs numériques   |
| 3 consoles PACE 231 R       | Calculs analogiques  |
| TR 10                       | Petits calculs analogiques "on-line"   |
| Bibliothèque des programmes | Echange de programmes avec autres centres de calcul<br>Gestion de ces programmes |



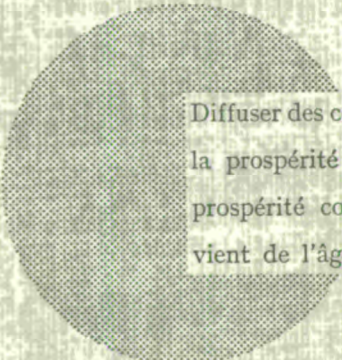
## AVIS AU LECTEUR

Tous les rapports Euratom sont signalés, au fur et à mesure de leur publication, dans le périodique mensuel **EURATOM INFORMATION**, édité par le Centre d'information et de documentation (CID). Pour souscrire un abonnement (1 an : FF 75, FB 750) ou recevoir un numéro spécimen, prière d'écrire à :

**Handelsblatt GmbH**  
**"Euratom Information"**  
**Postfach 1102**  
**D-4 Düsseldorf (Allemagne)**

ou à

**Office de vente des publications**  
**des Communautés européennes**  
**2, Place de Metz**  
**Luxembourg**



Diffuser des connaissances c'est distribuer de la prospérité — j'entends la prospérité collective et non la richesse individuelle — et cette prospérité contribue largement à la disparition du mal qui nous vient de l'âge des ténèbres.

Alfred Nobel

## BUREAUX DE VENTE

Tous les rapports Euratom sont vendus dans les bureaux suivants, aux prix indiqués au verso de la première page de couverture (lors de la commande, bien indiquer le numéro EUR et le titre du rapport, qui figurent sur la première page de couverture).

### OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

#### BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE  
40-42, rue de Louvain - Bruxelles  
BELGISCH STAATSBLAD  
Leuvenseweg 40-42, - Brussel

#### LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
9, rue Goethe - Luxembourg

#### DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER  
Postfach - Köln 1

#### NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ  
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

#### FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
26, rue Desaix - Paris 15<sup>e</sup>

#### ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO  
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

#### UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 589 - London S.E.1

EURATOM — C.I.D.  
51-53, rue Belliard  
Bruxelles (Belgique)

CDNA038982AC