

**Conférence Internationale sur les Technologies d'Irradiation  
Saclay - 20/22 mai 1992**

-:--:--:--:--

**LA BOUCLE OPERA DANS LE REACTEUR OSIRIS**

par : - M. LUCOT \* (+)  
- D. COLZY \*  
- P. NEGRI \*  
- M. ROCHE \*

**RESUME**

Afin de rajeunir et de moderniser son parc de boucles d'irradiation déjà en service depuis de nombreuses années (boucles IRENE, ISABELLE 1, ISABELLE 4), le C.E.A. réalise une nouvelle boucle plus puissante et plus performante que ces dernières.

Cette boucle appelée OPERA, est un dispositif d'irradiation associé au réacteur OSIRIS implanté au Centre d'Etudes de Saclay. Elle est conçue pour permettre des essais de qualification du combustible, fonctionnant dans les conditions thermohydrauliques et chimiques représentatives de celles des réacteurs à eau sous pression existants ou en cours de développement. Les crayons au nombre de 32 peuvent être neufs ou préirradiés, leur longueur pouvant aller jusqu'à 2 mètres. La puissance totale évacuée est de l'ordre de 1 MW.

Les 32 crayons combustibles sont répartis en 4 grappes de 8 crayons, chaque grappe est disposée dans un module d'irradiation, lui-même arrimé sur un dispositif de déplacement dans la piscine du réacteur à proximité du coeur. Un écran neutronique solide, solidaire du module et dont l'efficacité est ajustée à la demande par variation de l'épaisseur permet de prérégler la puissance neutronique des crayons.

Les 4 modules 'en pile' sont alimentés en parallèle par un circuit 'hors pile' commun. Ce circuit est classique et comprend principalement : un groupe de pompage, un réchauffeur électrique de 500 kW, un pressuriseur, un échangeur tubulaire de 1 000 kW. Des circuits auxiliaires permettent de compléter l'installation : circuit de contrôle volumétrique, circuit d'injection de secours, circuit d'épuration, circuit de conditionnement chimique, circuit de prélèvements et laboratoire d'analyses chimiques.

Cette installation est un projet complexe qui est réalisé suivant des règles de construction et des critères de sûreté analogues à ceux des réacteurs de puissance (application du code français RCCM - niveaux 1, 2 et 3)

Le document traitera de la conception et des spécificités de cette installation.

-----  
\* DIRECTION DES REACTEURS NUCLEAIRES  
Département de Mécanique et de Technologie  
Service d'Etudes Technologiques et d'Irradiations de Combustibles  
Laboratoire d'Etude et de Réalisation des Irradiations

C.E./Saclay - Bâtiment 527 - 91191 GIF SUR YVETTE CEDEX - France  
Téléphone : (1) 69/08/28/09  
Télex : ENERG 604641F ERI +  
Télécopieur : (1) 69/08/28/40

(+) : Conférencier

REPUBLIQUE FRANCAISE

**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**

**DIRECTION DES REACTEURS NUCLEAIRES  
DEPARTEMENT DE MECANIQUE ET DE TECHNOLOGIE  
SERVICE D'ETUDES TECHNOLOGIQUES  
ET D'IRRADIATION DES COMBUSTIBLES  
LABORATOIRE D'ETUDE ET DE REALISATION DES IRRADIATIONS**

\*\*\*\*\*

**CONFERENCE INTERNATIONALE SUR LES TECHNOLOGIES D'IRRADIATION  
Saclay 20-22 mai 1992**

\*\*\*\*\*

**LA BOUCLE OPERA DANS LE REACTEUR OSIRIS**

par : M. LUCOT - D. COLZY  
M. NEGRI - M. ROCHE

CE-SACLAY 91191 GIF sur YVETTE Cedex  
Telex ENERG 604641F ERI+ Télécopie (1) 69.08.28.40

## SOMMAIRE

- I - GENERALITES
- II - CAPACITE DE L'INSTALLATION
  - II,1 - Objectifs
  - II,2 - Caractéristiques principales
- III - DESCRIPTION DE L'INSTALLATION
  - III,1 - La partie en pile
  - III,2 - La partie hors pile
  - III,3 - Les liaisons entre la partie en pile et la partie hors pile
- IV - LES CONDITIONS DE REALISATION
  - IV,1 - La réglementation nationale
  - IV,2 - L'organisation au niveau du projet
  - IV,3 - Les enseignements à tirer de cette fabrication
- V - CONCLUSION

## I - GENERALITES

Afin de rajeunir et de moderniser son parc de boucles d'irradiation déjà en service depuis de nombreuses années, le C.E.A. réalise une nouvelle boucle plus puissante et plus performante.

Cette boucle, appelée OPERA, est un dispositif d'irradiation associé au réacteur OSIRIS implanté au Centre d'Etudes de Saclay. Elle est conçue pour permettre des essais de qualification du combustible, fonctionnant dans des conditions thermohydrauliques et chimiques représentatives de celles des réacteurs à eau sous pression existants ou en cours de développement. Les crayons, au nombre de 8 à 32, peuvent être neufs ou préirradiés, leur longueur pouvant aller jusqu'à 2 mètres. La puissance totale évacuable est de l'ordre de 1 MW.

Les crayons combustibles sont répartis en grappes de 8 crayons, chaque grappe est disposée dans un module d'irradiation, lui-même arrimé sur un dispositif de déplacement dans la piscine du réacteur, à proximité du coeur. Les 4 modules "en pile" sont alimentés en parallèle par un circuit "hors pile" commun.

## II - CAPACITE DE L'INSTALLATION

### II,1 - Objectifs :

La boucle OPERA est réalisée pour répondre aux objectifs suivants :

- représentativité des conditions REP : pression, température, chimie, hydraulique,
- possibilité d'irradier des crayons neufs ou des crayons préirradiés quel que soit le type ou la conception du crayon, par exemple :
  - . crayons standards REP, type 17 x 17 et crayons REP de conceptions diverses,
  - . crayons contenant du plutonium à teneurs variables, type 17 x 17,
  - . crayons actinides,
  - . crayons des réacteurs avancés à pas hexagonaux.

Plusieurs types de crayons peuvent être irradiés simultanément.

.../...

- Capacité d'irradiation suffisante compte tenu des programmes en cours ou à venir à moyen terme : 4 modules d'irradiation permettant d'effectuer divers programmes, tels que haut taux de combustion, MOX, conception avancée de crayons pour des études sur les gaines (corrosion) ou sur les matériaux combustibles.
- Souplesse d'utilisation :
  - . intervention possible à chaque arrêt réacteur, avec possibilité de remplacement crayon par crayon,
  - . possibilité de fonctionner avec 1, 2, 3 ou 4 modules en pile,
  - . indépendance des modules du point de vue puissance,
  - . possibilité d'exams en piscine du réacteur sur les équipements existants (neutronographie, gammascanning, courants de Foucault, profilométrie).

## II,2 - Caractéristiques principales :

### - Géométrie du canal d'essai :

Le diamètre interne du tube de force d'un module est de 60 mm. Ce diamètre permet aisément de placer 8 crayons combustibles standards ( $\emptyset$  9,5 mm) au pas standard de 12,6 mm. A titre indicatif, la section d'un tel chargement est représentée sur la figure 1.

D'autres chargements peuvent être envisagés, seul le diamètre de 60 mm est imposé.

### - Thermohydraulique :

La boucle permet de reproduire les conditions thermohydrauliques des réacteurs REP, à savoir :

- pression : 155 bar
- température : de l'ordre de 300 à 330°C

.../...

Les crayons étant plus courts dans OPERA que dans un REP, le potentiel thermique entrée-sortie grappe combustible est plus faible dans OPERA, il est de l'ordre de 12 à 13°C à forte puissance (500 W/cm) ; à titre indicatif, les conditions de température seraient :

- température eau entrée grappe : 310°C
- température eau sortie grappe : 323°C

Dans ce cas, la température de sortie est représentative de celle des REP 900 MW.

• Débit :

Le débit total du circuit primaire est de 10,4 kg/s, soit 2,60 kg/s par module. Ce débit permet d'assurer une vitesse de l'ordre de 4,5 m/s le long des crayons d'une grappe combustible de 8 crayons standards.

- Chimie :

La boucle permet de reproduire les conditions chimiques des réacteurs REP, par un traitement acide borique-lithine-hydrogène de l'eau du circuit primaire.

- Neutronique :

• Puissance nucléaire : il est possible de générer sur les crayons combustibles des puissances comprises entre quelques W/cm et 500 W/cm (valeur dans le plan du flux maximal).

• Flux neutronique rapide : il dépend des crayons irradiés et de la position des modules par rapport au coeur du réacteur. A titre indicatif, pour des crayons d'enrichissement 4,95 - 6,2 - 8,6% et une puissance de l'ordre de 400 W/cm, les flux rapides calculés ( $E \geq 1$  MeV) dans le plan du flux maximal sur les gaines des crayons en position avant, sont de l'ordre de  $6 \text{ à } 7 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ .

.../...

- Découplage des puissances boucles et réacteur :

Ce découplage est réalisé de deux manières :

- par une position variable des modules par rapport au coeur du réacteur,
- par un écran neutronique solide, solidaire des modules et dont l'efficacité est ajustée à la demande, par variation de l'épaisseur (écran amovible).

- Variation de puissance des crayons combustibles :

Des variations de puissance de 50 à 100% de la puissance maximale peuvent être réalisées par déplacement contrôlé de chaque module, par rapport au coeur du réacteur. La vitesse de déplacement permet des rampes classiques de l'ordre de 50 à 100 W/cm par minute.

Ces valeurs de variations de puissance et de rampes sont données à titre indicatif, car elles sont représentatives des valeurs habituellement rencontrées dans les irradiations expérimentales. Cependant, la boucle OPERA, de par sa construction, est capable des valeurs maximales suivantes :

- course : 220 mm, soit un facteur 30 environ sur la puissance des crayons,
- vitesse du déplacement : 220 mm en 10 s, soit un facteur 2 sur la puissance des crayons en 2 s environ.

- Enfournement et défournement des crayons :

L'assemblage combustible est amovible par rapport au tube de force et par rapport à l'instrumentation, cette conception autorise :

- la modification du réseau à la demande :
  - . retrait de certains crayons et mise en place de nouveaux crayons,
  - . réarrangement du réseau existant,
- le transfert vers les cellules chaudes d'un seul crayon ou de l'assemblage complet,
- le passage des échantillons sur les bancs de contrôles non destructifs implantés à OSIRIS.

.../...

- Instrumentation et mesures :

L'instrumentation de la boucle permet les mesures suivantes :

- thermohydrauliques,
- chimiques,
- neutroniques (en particulier pour déterminer la répartition de puissance sur la grappe combustible).

Chaque module est instrumenté de 12 thermocouples Chromel-Alumel et de 8 sondes neutroniques Argent.

- Calcul et suivi :

Le système de commande et de contrôle de la boucle ainsi que le calculateur associé permettent :

- des calculs en temps réel pour suivre l'évolution des paramètres non directement mesurables,
- des sorties périodiques pour contrôler les principaux résultats,
- la mise en mémoire des paramètres d'irradiation nécessaires à la rédaction du rapport de l'expérience.

### III - DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

L'installation est constituée de trois parties principales :

- une partie en pile,
- une partie hors pile,
- des liaisons entre la partie en pile et la partie hors pile.

.../...



III,1 - La partie en pile :

Elle comprend quatre modules contenant les échantillons à tester, placés sur quatre dispositifs de déplacement en périphérie du coeur du réacteur.

Chaque module comprend les principaux éléments suivants (figure 2) :

- un tube de force doublé d'un tube calandre assurant la fonction de tube de sécurité en partie basse,
- un porte-instrumentation venant s'introduire dans le tube de force,
- un assemblage combustible réalisant le réseau de crayons, venant s'introduire dans le porte-instrumentation,
- une entrée et une sortie pour le fluide caloporteur, ainsi que des passages pour la connexion des circuits auxiliaires et des mesures,
- un écran neutronique amovible, extérieur au tube calandre, la partie absorbante en hafnium est située en face du coeur du réacteur.

III,2 - La partie hors pile :

Elle assure essentiellement la pressurisation et la circulation forcée de l'eau de refroidissement des échantillons. Elle comprend principalement les éléments mécaniques situés dans deux casemates blindées, un système électrique à synoptique lumineux et un calculateur associé permettant la conduite et le contrôle de l'expérience.

a) Les éléments mécaniques : ces éléments sont classiques et comprennent essentiellement (figure 3) :

- trois électropompes de circulation disposées en parallèle (dont une installée en réserve), prévues pour un fonctionnement à 170 bar et 350°C,
- un pressuriseur thermique double phase (eau-vapeur) de 250 litres,

.../...

- un réchauffeur électrique comprenant 21 cannes électriques de 24 kW chacune,
- un échangeur de chaleur tubulaire à lame de gaz de 1 MW,
- un circuit de remplissage et de vidange comprenant deux pompes d'injection normale, une pompe d'injection chimique à faible débit, un ensemble de vannes électro-pneumatiques et motorisées pour la décharge ; le remplissage en eau et les appoints d'eau en cours de fonctionnement se font à partir d'un circuit particulier dont l'eau est déminéralisée, dégazée et subit, selon les expériences, un traitement acide borique-lithine-hydrogène,
- un circuit d'injection de secours comprenant deux réserves d'eau déminéralisée de 1 m<sup>3</sup> chacune et deux pompes d'injection de secours haute pression,
- un circuit de détection de rupture de gaine (DRG) comprenant une ligne à retard pour ajuster le temps de transit de l'eau et le bloc DRG proprement dit où sont situés les appareils de contrôle de l'activité,
- un circuit d'épuration comprenant deux échangeurs de chaleur et deux pots de résines avec leur propre blindage,
- un circuit de prélèvement d'eau du circuit primaire pour contrôle périodique de la chimie de l'eau (6 prélèvements sont installés),
- un circuit des effluents comprenant un condenseur de volume suffisant pour recevoir la totalité de l'eau du circuit primaire et absorber son énergie, un réservoir pour les effluents gazeux, une pompe de circulation et deux pots de résines avec leur blindage.

b) Les casemates : l'ensemble des circuits mécaniques haute pression qui ne sont pas en double contaimement sont disposés dans une casemate principale à fuite contrôlée. Cette casemate est elle-même reliée par une tuyauterie de 800 mm de diamètre à une piscine de condensation située à proximité dans une casemate annexe.

.../...

En cas de fuite ou de rupture du circuit primaire, les casemates assurent les fonctions suivantes :

- limitation de la surpression sur la troisième barrière du réacteur,
- confinement en cas de contamination,
- réalisation d'une protection biologique contre les rayonnements,
- limitation de l'accroissement de l'hygrométrie dans l'enceinte à fuite contrôlée OSIRIS.

c) Le système de contrôle-commande : l'ensemble du contrôle-commande peut être décomposé en deux parties :

- la partie destinée à la sûreté,
- la partie destinée au contrôle et au suivi de l'expérience (hors sûreté).

La partie relative à la sûreté est reliée au système de contrôle-commande du réacteur OSIRIS pour assurer les actions automatiques de sûreté sur le réacteur en cas de défaillance de l'installation OPERA. Elle est conçue et réalisée selon les principes suivants :

- redondance des chaînes de mesure pour les grandeurs conduisant à des actions de sûreté (traitement logique en 2/3),
- indépendance physique au niveau des ensembles et sous-ensembles,
- indépendance des alimentations électriques des voies de sûreté,
- découplage galvanique des signaux analogiques des capteurs,
- découplage des signaux Tout Ou Rien (capteurs à contacts),
- mise en oeuvre de deux voies de sûreté réacteur en 2/3 avec indépendance physique.

.../...

La partie relative au contrôle et au suivi (hors sûreté) est classique, cependant le nombre de capteurs est important et leur qualité imposée ; cette conception permet de bien maîtriser l'installation et d'assurer la fiabilité nécessaire aux expériences.

### III,3 - Les liaisons entre la "partie en pile" et la "partie hors pile" :

Le raccordement de la partie en pile se fait dans la partie supérieure des modules :

- sur le tube calandre pour l'alimentation et la purge de la lame de gaz,
- sur le tube de force pour l'arrivée et le retour de l'eau du circuit primaire,
- sur la tête du porte-instrumentation pour les autres circuits (injection de secours, mesures électriques).

Les liaisons avec le circuit hors pile sont divisées en deux groupes :

- le premier groupe comprend les liaisons qui peuvent véhiculer des fluides actifs et cheminent sous eau jusqu'à des traversées piscine immergées existantes (niveau -3,70 m et -1 m) situées dans le mur même de la piscine ; hors piscine, les liaisons cheminent dans les sous-sols du réacteur derrière une protection biologique, jusqu'à l'arrivée dans la casemate principale,
- le deuxième groupe, constitué de tuyaux flexibles, assure l'isolement par rapport à l'eau de la piscine, la protection et le transfert des lignes de mesures électriques (thermocouples et sondes neutroniques) qui cheminent sous eau jusqu'à des boîtiers de raccordement situés en bordure de piscine ; ces lignes sont ensuite reliées au système de contrôle et de commande de la boucle en passant sur des chemins de câbles.

En piscine, des boîtiers de raccordements intermédiaires (niveau -4 m) sont implantés sur les liaisons des tuyauteries afin de faciliter la manutention des sous-ensembles.

.../...

La conception des liaisons du circuit primaire principal est particulière. En effet, la fonction principale de ces liaisons est de contenir le fluide caloporteur à forte pression et haute température et de permettre sa circulation, mais ces liaisons doivent également assurer deux autres fonctions : d'une part, assurer la désactivation partielle de l'eau et d'autre part autoriser le déplacement des modules.

Pour assurer ces fonctions particulières, les tuyauteries en piscine sont en forme de lyres, ce qui permet le déplacement des modules sur une distance de 220mm et les tuyauteries hors piscine sont allongées et grossies pour assurer un temps de transit de 20 secondes environ entre la sortie du canal d'essai et l'entrée de la casemate, pour désactivation des radionucléides à périodes courtes, notamment l'azote 17 (émetteur de neutrons) et l'azote 16.

#### **IV - LES CONDITIONS DE REALISATION**

OPERA est une boucle d'irradiation conçue par le C.E.A., selon la réglementation mise en place par les autorités de sûreté et sous leur contrôle ; elle est étudiée, réalisée et testée par des "ensemblers" selon des règles de construction définies et sous le contrôle du Maître d'Oeuvre et des autorités de sûreté.

##### **IV,1 - La réglementation nationale :**

Pour la boucle OPERA, le C.E.A. a constitué un groupe Projet et a désigné un Maître d'Ouvrage et un Maître d'Oeuvre. La rédaction par le Maître d'Oeuvre d'un Rapport Préliminaire de Sûreté (R.P.S.), soumis à l'examen des autorités de sûreté, a permis ensuite d'assurer la maîtrise de la conception et des études générales du Projet. Ce R.P.S. a aussi précisé les conditions de réalisation de la boucle et les conditions d'application de la Réglementation. Le code de construction retenu est constitué par les "Règles de Conception et de Construction des matériels Mécaniques des îlots nucléaires PWR" (RCCM) utilisé pour la construction des réacteurs de puissance de l'EdF. La vérification du respect des règles de construction retenues a été confiée par les autorités de sûreté au "Bureau de Contrôle de la Construction Nucléaire" (BCCN), en dépendance du Ministère de l'Industrie.

.../...

IV,2 - L'organisation propre au Projet :

La rédaction d'un Programme Particulier d'Assurance de la Qualité (PPAQ), par le Maître d'Oeuvre, a permis de définir l'organisation du Projet, les missions des intervenants et la gestion des documents dans le cadre des directives du RPS. L'établissement de cahiers des charges, associés aux commandes de matériels, a permis de retranscrire les exigences du RPS auprès des trois principales Sociétés jouant le rôle d'"ensembliers".

Chacun des fabricants a rédigé à son tour un PPAQ propre à sa fourniture ; il y a précisé l'organisation mise en place pour répondre aux exigences de la commande et a replacé l'affaire dans le cadre de son Manuel d'Assurance Qualité (MAQ). En préalable aux fabrications, la réalisation des matériels a généralement nécessité l'établissement par le fabricant de documents multiples, dont le contrôle a été assuré par le Maître d'Oeuvre selon des procédures définies. La liste des documents à établir par un fabricant précisait, dès l'origine, le motif d'envoi d'un document qui pouvait être effectué, soit pour "Information", soit pour "Observations". Les documents reçus pour "Observations" ont fait l'objet d'une procédure formelle d'examen, avec délivrance d'un visa du Maître d'Oeuvre autorisant les fabricants à lancer les opérations de fabrication en atelier.

Les notes de calcul les plus importantes ont été soumises à une vérification externe d'un organisme de contrôle reconnu pour sa compétence dans le domaine des calculs de matériels nucléaires. Les autres documents ont généralement été soumis à un examen formel du Maître d'Oeuvre.

Parallèlement aux contrôles de conformité aux documents contractuels effectués par le Maître d'Oeuvre, ces documents ont le plus souvent été soumis à l'examen du Bureau de Contrôle de la Construction Nucléaire (B.C.C.N.).

Après accord sur le documentaire, les réalisations ont été régulièrement suivies par des inspections effectuées par les agents de la Cellule Qualité du Maître d'Oeuvre et par des agents du BCCN. A cet effet, les Plans Qualité faisaient apparaître, dès l'origine, les différents points d'intervention du client pour chacune des opérations qu'il souhaitait contrôler.

.../...

Conformément aux règles d'Assurance Qualité définies dans le A5000 du RCCM, les approvisionnements ont été commandés sur la base de Spécifications particulières d'approvisionnement et de contrôle, et réalisés en Assurance Qualité.

Les composants standards importants ont été généralement réalisés par des fournisseurs équipant les centrales nucléaires.

Un procédé qui n'est prévu par aucun code de construction a été mis en oeuvre pour OPERA ; il s'agit de la réalisation de jonctions diffusées de liaison du zircaloy 4 avec l'acier inoxydable Z2 CND 17.12 + N2. Ces jonctions sont fabriquées depuis plus de vingt ans par le C.E.A., mais dans le cas d'OPERA elles ont fait l'objet de qualifications des procédés de fabrication et de contrôle, et elles font l'objet d'une qualification de produit. A cet effet, deux maquettes d'essais ont été réalisées et sont testées sur une installation reproduisant les sollicitations permanentes ou transitoires qui seront vues par la boucle, en conditions normales ou incidentelles. Un essai destructif sera effectué sur la première maquette.

Une attention particulière a été portée aux procédés de soudage des composants. Ces procédés ont fait l'objet, pour les appareils soumis à la réglementation, de qualifications de modes opératoires et de qualifications de soudeurs devant des organismes agréés.

La gestion des fiches de non-conformité ou d'anomalie a permis d'avoir une vue synthétique des dérives par rapport aux exigences initiales. Elle a permis d'attirer l'attention des fabricants sur les manquements aux exigences contractuelles pour demander les actions correctives nécessaires.

A l'achèvement des réalisations, le fabricant établit un Rapport de Fin de Fabrication regroupant tous les documents importants associés à l'affaire, après avoir vérifié leur conformité à la commande. Il permet d'assurer la traçabilité des différentes opérations. Ce document est ensuite exploité par le Maître d'Oeuvre pour établir une Synthèse de la Qualité d'ensemble qui, associée au Rapport Provisoire de Sécurité, permettra aux organismes de sûreté de délivrer les autorisations de mise en service.

Le Projet a été soumis à Audit et il a lui-même provoqué des Audits chez ses fabricants.

IV,3 - Les enseignements à tirer de cette fabrication :

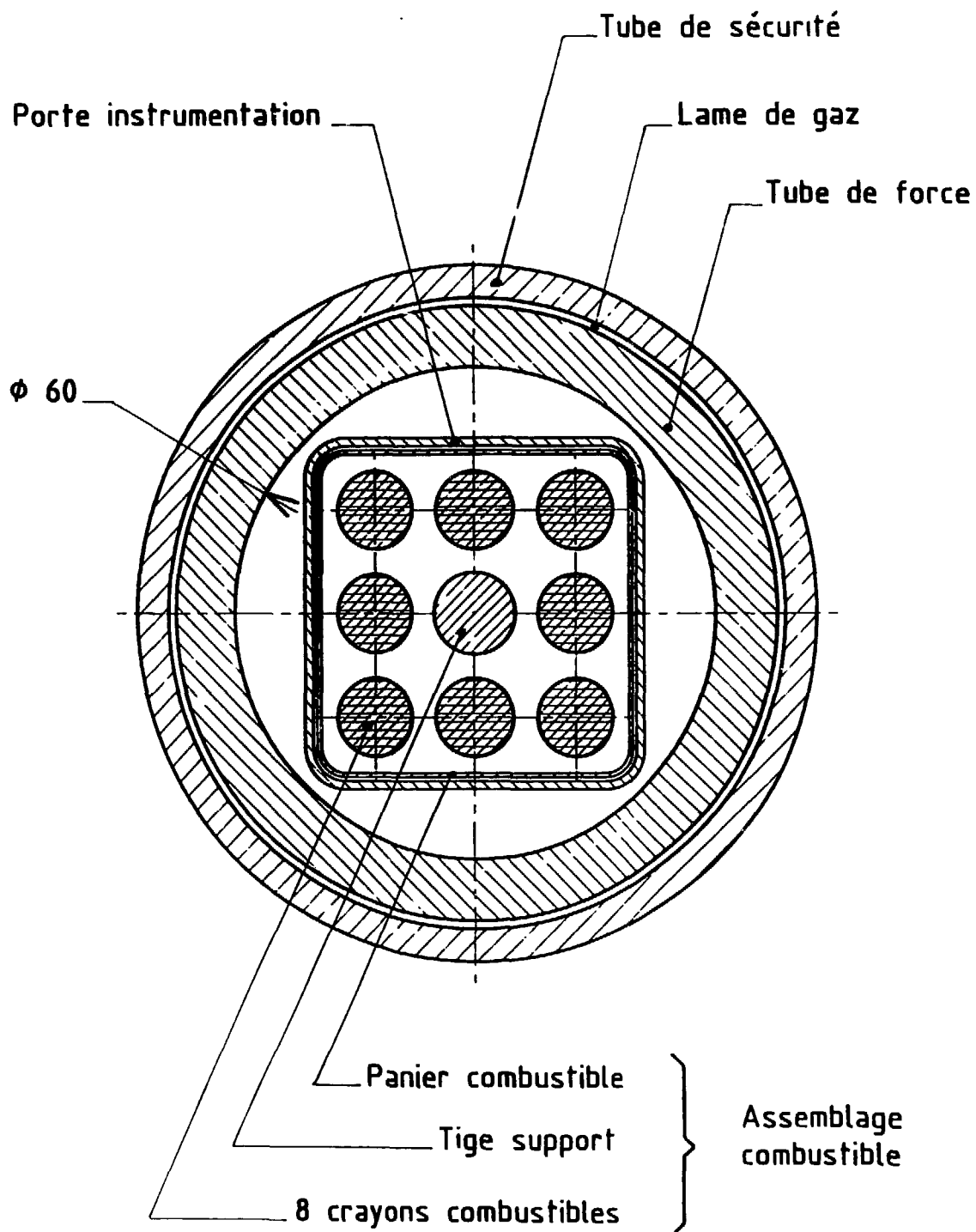
Des règles d'Assurance Qualité ont été mises en place depuis de nombreuses années pour la réalisation de dispositifs expérimentaux, sur la base d'un code de construction propre au C.E.A. et laissant une grande liberté d'action au responsable d'affaire. La réalisation d'OPERA avec un code de construction nouveau pour le plus grand nombre des intervenants et sous le contrôle d'agents extérieurs au C.E.A. a amené le Maître d'Oeuvre et les fabricants à adapter leurs moyens en personnel aux exigences d'un code qui nécessite la mise en place de moyens importants pour la réalisation d'un prototype.

V - CONCLUSION

La boucle OPERA permettra l'irradiation de crayons combustibles de diverses conceptions dans des conditions thermohydrauliques et chimiques représentatives de celles des réacteurs de puissance à eau sous pression, existants ou en cours de développement.

Actuellement, les études et les fabrications en usine sont terminées, les circuits hors pile sont en phase finale d'installation, les circuits en pile vont être mis en place à partir de juin 1992 et l'ensemble de la boucle doit démarrer en septembre 1992 pour les premiers essais de qualification.

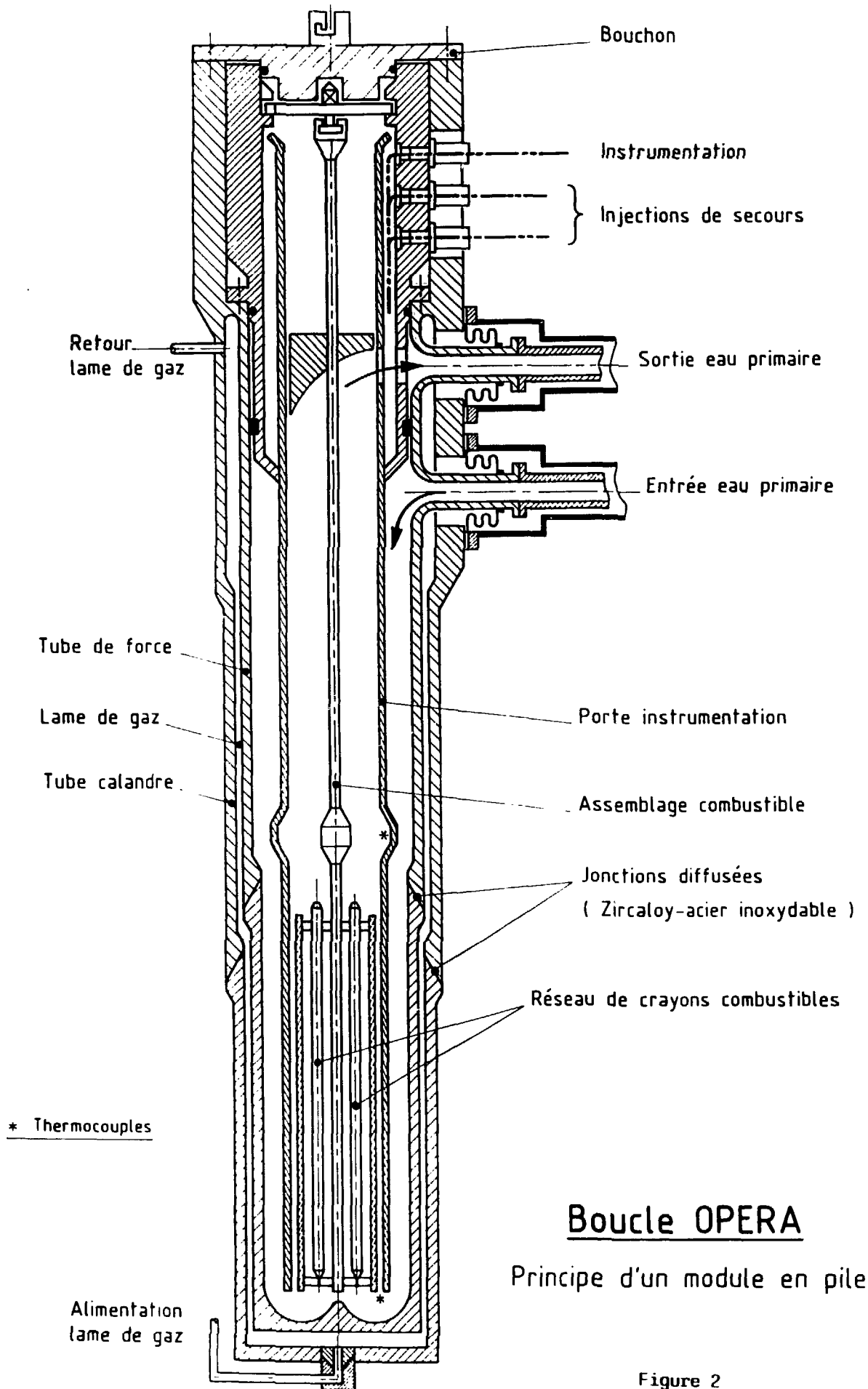




## BOUCLE OPERA

Module équipé d'une grappe  
de 8 crayons type REP

Figure 1



## Boucle OPERA

Principe d'un module en pile

Figure 2

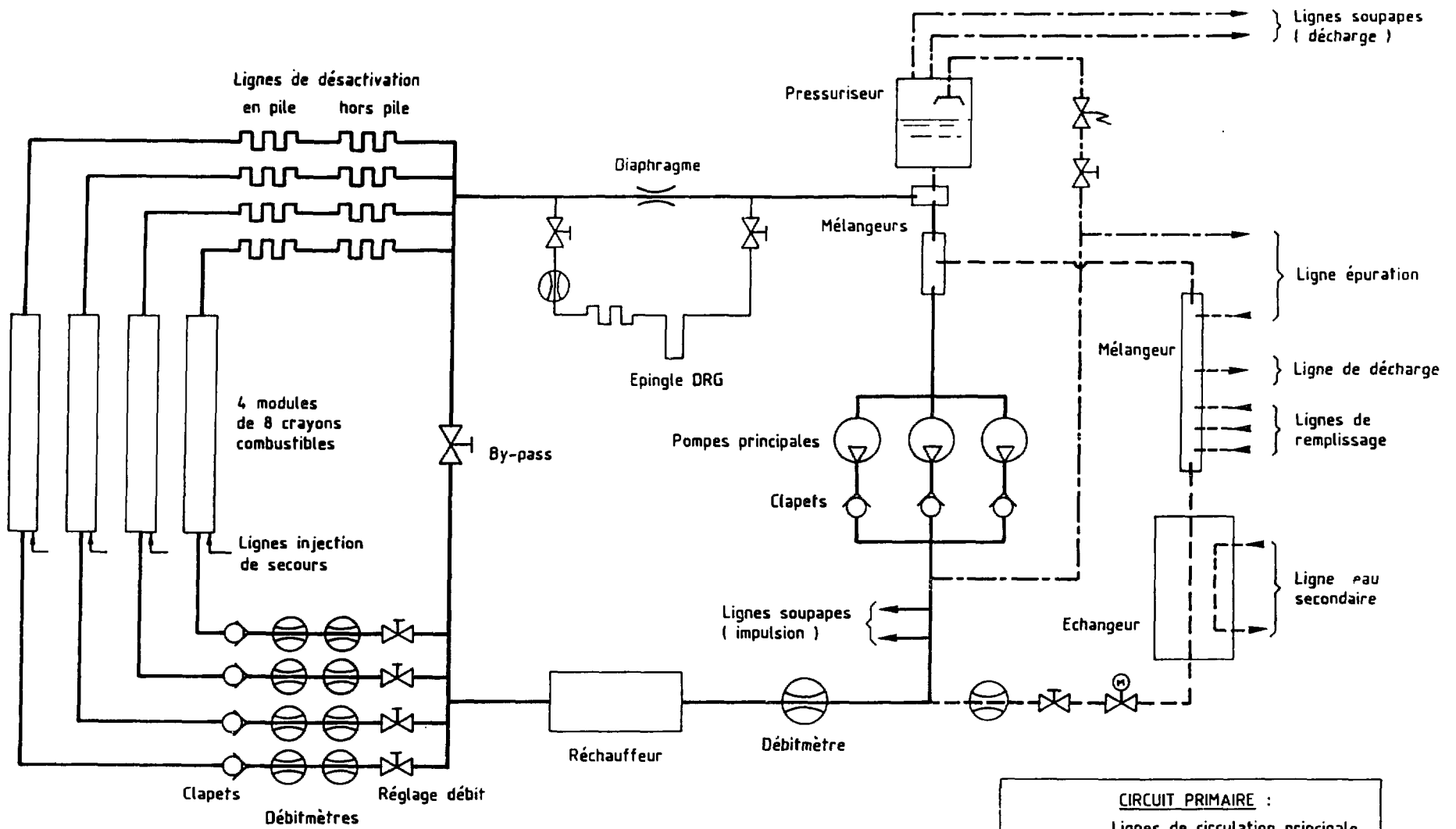


Figure 3

**BOUCLE OPERA**  
Schéma de principe

CIRCUIT PRIMAIRE :	
—	Lignes de circulation principale
- - -	Ligne échangeur principal
- · - · -	Ligne pressuriseur
—	Ligne DRG