



Agence internationale de l'énergie atomique

WP/5/220

24 septembre 1965

Distr. LIMITEE

Original : FRANCAIS

REACTEUR DE PUISSANCE D'EAU LOURDE

Rapport au Gouvernement d'Argentine

TA Rapport No 220

REACTEUR DE PUISSANCE A EAU LOURDE
RAPPORT AU GOUVERNEMENT D'ARGENTINE

par

G.Ledanois

Novembre 64 - Mai 65

I. INTRODUCTION

Ce rapport constitue le compte rendu d'une mission d'assistance technique auprès de la Commission nationale argentine de l'énergie atomique (CNEA).

Cette mission s'est étendue sur six mois, de novembre 1964 à mai 1965.

L'expert a passé la plus grande partie de ce temps dans la capitale argentine avec les ingénieurs du Département des réacteurs qu'il voudrait remercier ici pour leur collaboration et leur accueil amical. De même il a reçu toute l'aide possible du Bureau d'assistance technique des Nations Unies à Buenos Aires.

L'objet de cette mission était initialement un projet de réacteur de puissance à eau lourde.

II. SITUATION DE LA CNEA

Pendant les premières semaines de son séjour l'expert s'est efforcé d'obtenir une vue d'ensemble de la situation et des programmes de réacteurs de la CNEA au cours d'entretien avec :

M. PAPADOPOULOS, Chef de la Division (Gerencia) d'énergie
M. COSENTINO, Chef du Département des réacteurs
Les ingénieurs du Département des réacteurs.

Il en ressort que :

1) En 1963, la CNEA, la Direction des eaux et électricité et les compagnies d'électricité se sont intéressées très vivement à la possibilité de construire un réacteur nucléaire de puissance pour satisfaire la demande d'énergie électrique dans la province de Buenos Aires.

On retenait surtout les avantages des réacteurs à eau lourde, par exemple du type CANDU, qui permettaient de consommer les ressources nationales en minerai d'uranium et assuraient au projet une autonomie certaine. Ce devait être une réalisation argentine avec l'assistance de l'Agence internationale et des pays, Canada et France, plus spécialement avancés dans ce type de réacteurs.

La puissance à fournir par ce premier réacteur était estimée à 200 MW électriques. Le projet était en compétition avec ceux des ouvrages hydro-électriques de Chocon ou Salto Grande qui sont en cours d'étude mais pouvait cependant bénéficier d'une certaine priorité.

C'est à ce moment que la CNEA demande l'envoi d'un expert.

2) Pendant ce temps se poursuivait la réalisation du réacteur de 5 MW, RAEP, pour la recherche et la production de radioisotopes, dont est chargé le département des réacteurs qui réalise les études et travaille également comme maître d'oeuvres.

Les ingénieurs du département des réacteurs ne pourraient donc se consacrer utilement à un nouveau projet qu'après la divergence de RAEP qui a malheureusement été retardée par divers problèmes économiques et qui est actuellement prévue au cours de l'année 1966.

3) Un projet national de réacteur de puissance paraissant dans ces conditions trop ambitieux, l'intérêt s'est reporté depuis l'an dernier sur l'achat d'un réacteur de puissance d'un type éprouvé, dont le choix serait fait à la suite d'une consultation internationale. On a alors créé une commission dite "d'étude de factibilité" qui comprend environ 20 ingénieurs et fonctionnaires de la CNEA, des compagnies d'électricité de la province de Buenos Aires de la Direction des eaux et de l'électricité, sous la direction de l'ingénieur CSIK, spécialiste à la CNEA des problèmes d'économie des réacteurs nucléaires, sous le contrôle d'un comité de trois membres - dont le président de la CNEA, l'amiral QUIHILLALT - cette commission doit remettre au Gouvernement argentin, en octobre 1965, un rapport sur les différents problèmes que posent l'achat, l'installation et l'alimentation en combustible d'un réacteur de puissance :

Investissements

Prix de revient du kilowatt/heure

Choix du site

Problèmes de branchement dans le réseau électrique de la province de Buenos Aires

Fabrication des éléments combustibles.

Un point important de l'étude en cours concerne la participation éventuelle de l'industrie nationale à la construction du réacteur et à la fourniture des éléments combustibles.

Les types de réacteurs qui sont considérés comme suffisamment éprouvés pour servir de base à cette étude sont :

BWR

PWR

CANDU

MAGNOX ou EDF

La puissance de référence est dans chaque cas 300 MW électriques. Au moyen de missions à l'extérieur ou de visites de spécialistes étrangers la commission maintient des relations avec les constructeurs ou les organismes gouvernementaux d'Angleterre, du Canada, des Etats-Unis et de la France.

4) Il serait cependant dommage d'abandonner l'idée d'un projet argentin de réacteur et de ne pas profiter de l'expérience acquise par les ingénieurs de la CNEA.

Après la divergence du réacteur RAEP en 1966, on risquerait de laisser inactive les équipes chargées des études, en particulier le département des réacteurs et de les voir alors se dissocier.

La solution pourrait être d'entreprendre l'étude d'un prototype de réacteur, modéré à l'eau lourde qui fournirait de 40 à 50 MW thermiques et qui permettrait, comme l'a prouvé l'exemple du réacteur canadien NPD, de résoudre une bonne partie des problèmes techniques de futures usines "full-scale"; il s'agirait en particulier de tester le dessin et la mise au point technologique d'un élément combustible fonctionnant dans des conditions sévères.

Les études préliminaires devraient débiter dès maintenant si l'on veut disposer d'éléments de décisions en 1966.

III. ACTIVITES DE L'EXPERT

1) 5 novembre 1964 - 13 janvier 1965 - Buenos Aires

a) Entretiens déjà mentionnés constituant un tour d'horizon de la situation et des programmes de la CNEA.

b) Série de conférences et de discussions avec le personnel du département des réacteurs sur :

les projets actuels de réacteurs de puissance modérés à l'eau lourde et en particulier le programme français (réacteur EL 4 et développements futurs).

les expériences de physique liées directement à la conception des réacteurs de puissance

- Mesure sur les réseaux
- Etudes des combustibles irradiés par la méthode d'oscillation
- Expériences d'empoisonnement

les méthodes de calcul des réacteurs à eau lourde

- Réactivité initiale
- Evolution et circulation du combustible
- Echanges thermiques dans le canal

c) Travail préliminaire à un projet de réacteur à eau lourde

Ce travail commence par la formulation et la programmation, sur la calculatrice Mercury Ferranti de l'Université de Buenos Aires, d'un code calcul des échanges thermiques dans un réacteur à eau lourde. Ce code permet l'optimisation des paramètres thermiques du canal le plus chargé.

Dans le cas du refroidissement par gaz on tient compte de :

- La puissance spécifique maximum extraite du combustible
- La section droite du combustible et la section de passage du fluide
- Le périmètre d'échange
- La différence de température entre gaine et fluide
- La pression du gaz
- La fraction de la puissance produite utilisée pour le pompage.

Dans le cas du refroidissement par liquide, ces deux derniers paramètres sont sans importance réelle, mais la vitesse de circulation du fluide est à prendre en considération.

Formulation d'un code pour le calcul de la réactivité des réseaux à eau lourde. Certaines méthodes utilisées pour le cas des réseaux à eau légère et qui sont déjà programmées peuvent être utilisées à condition de tester et d'ajuster l'ensemble du calcul sur des résultats expérimentaux publiés, par exemple ceux de la facilité critique Aquilon de Saclay.

Choix de l'ordre de grandeur des paramètres d'un réacteur de 40 MW thermiques.

Ce choix, pour fixer les idées dans un premier stade du travail, est basé sur les tendances actuelles dans les projets de réacteurs à eau lourde.

La puissance spécifique moyenne extraite du combustible, les conditions de température et de pression doivent être autant que possible voisines de celles d'une centrale de grande taille.

Deux cas sont examinés suivant que le fluide de refroidissement est l'eau lourde sous pression ou le gaz carbonique, mais dans les deux cas on suppose l'emploi de tubes de pressions, le modérateur restant froid. Le combustible est sous forme d'oxyde d'uranium. Pour commencer le manque de réactivité dû aux fuites de neutrons, il est nécessaire d'utiliser un combustible légèrement enrichi; il serait intéressant d'étudier le cas d'un enrichissement par du plutonium, qui soulève les problèmes de la technologie de l'élément combustible et du recyclage des noyaux fissiles.

Les valeurs de base des principaux paramètres sont indiquées dans le tableau ci-après :

	CO ₂	D ₂ O
Puissance spécifique maximum (W/cm ³)	320	320
Section droite de combustible (cm ²)	18,4	23
Section de passage du fluide (cm ²)	14	12
Nombre d'éléments de la grappe	19	19
Diamètre des crayons d'UO ₂ (mm)	11,2	12,4
Nature et épaisseur des gaines (mm)	acier inoxydable 0,4	Zircalloy 0,4
Diamètre du canal (mm)	67	70
Longueur du canal (cm)	240	240
Pression (kg/cm ²)	60	
Vitesse de circulation D ₂ O (m/s)		2,5
Différence entre température maximum de gaine et température moyenne du fluide (°C)	220	54
Puissance spécifique moyenne (MW/t)	16	16
Nombre de canaux	60	48
Pas du réseau (mm)	220	230
Diamètre du coeur (cm)	193	180
Charge d'oxyde (kg)	2 500	2 500

2) 15 janvier - 10 février 1965 -

Université de San Carlos de Bariloche - Province de Rio Negro.

Pendant la période des vacances d'été dans la capitale, enseignement du cours de physique des réacteurs aux élèves de cinquième année. Les élèves, qui sont pour la plupart boursiers de la CNEA et ont reçu une formation très solide en physique fondamentale et expérimentale, peuvent choisir en cinquième année de suivre ce cours de huit heures hebdomadaires. Complété par un semestre de cours plus spécialisés et par la rédaction d'un travail personnel, cet enseignement permet à la CNEA de recruter de jeunes licenciés capables de participer utilement à une expérience de physique en pile ou, par exemple, aux études neutroniques dans un projet de réacteur.

Le budget de l'université ne lui permet malheureusement pas de disposer d'un réacteur d'enseignement, ce qui restreint évidemment les possibilités de manipulation. Cette année on a néanmoins prévu une mesure d'âge des neutrons à réaliser par les étudiants.

3) 11 février - 15 mars 1965 - Buenos Aires

Participation aux travaux de la Commission d'étude de factibilité. Un chapitre de cette étude doit être consacré à l'analyse des cycles de combustible. Après recherche bibliographique et consultation des travaux sur le sujet présenté à la dernière conférence de Genève, nous avons pu rédiger, avec la collaboration efficace de l'ingénieur R. Solanilla, un rapport (considérations générales sur les cycles de combustible dans les réacteurs de puissance) duquel on pourra tirer la matière de ce chapitre, à savoir :

- a) La description technique du cycle de combustible
 - conception de l'élément combustible
 - méthode de chargement et utilisation en pile
 - composition du combustible à la sortie de la pile et possibilité de retraitement;
- b) Les paramètres intervenant dans un calcul de prix de revient du cycle de combustible
 - analyse du coût de fabrication des éléments combustibles
 - taux de combustion
 - durée du cycle;
- c) Un exemple de calcul économique suivant la méthode proposée par H. Michaelis (Euratom 1887-f).

IV. DEVELOPPEMENTS FUTURS DU PROJET

1) Avant l'achèvement des travaux du réacteur RAEP en 1966, la CNEA devra être en mesure de décider si elle entreprend la construction d'un réacteur prototype modéré à l'eau lourde. Entre-temps, le Gouvernement argentin aura pris une décision sur l'achat d'une centrale nucléaire à un constructeur étranger. Il semble actuellement très probable, pour diverses raisons économiques et politiques, que cette centrale serait du type eau légère - uranium enrichi. L'intérêt de la solution eau lourde-uranium naturel deviendrait plus lointain dans ces conditions : mais à plus long terme elle conserverait tous ses avantages pour l'économie nationale.

2) L'équipe qui serait éventuellement chargée d'un projet de réacteur à eau lourde est le groupe de développement du Département des réacteurs. Il se compose actuellement, outre le chef du Département qui est actuellement le responsable du projet RAEP de 13 ingénieurs ou diplômés qui se répartissent comme suit par spécialité :

- Conception générale - Technologie : 4
- Neutronique - Calcul du coeur : 3
- Contrôle - Electronique : 3
- Mathématiques appliquées - Programmation : 2
- Thermique - Echanges de chaleur : 1

La plupart ont plusieurs années d'expérience et quatre ont bénéficié de bourses de l'AIEA ou du Gouvernement argentin pour des séjours de perfectionnement à l'étranger. Il est d'ailleurs souhaitable que le rythme d'attribution de ces bourses soit maintenu pour les jeunes diplômés récemment recrutés.

L'effectif devrait être augmenté d'au moins 50 % pour être chargé du nouveau projet et on devrait prévoir l'agrandissement du laboratoire d'échanges thermiques qui doit être installé prochainement avec l'aide d'un expert de l'AIEA.

3) Les moyens de calcul de la CNEA se réduisent actuellement à l'ordinateur Mercury-Ferranti de l'Université de Buenos Aires.

On utilise habituellement pour les projets de réacteurs à eau lourde des moyens beaucoup plus puissants, en particulier pour les études des techniques de chargement et de circulation du combustible qui sont importantes pour l'économie des centrales.

La solution pourrait être de louer les services d'un ordinateur à l'étranger, mais les délais de transmissions peuvent être un obstacle.

4) Intérêt d'une expérience critique à eau lourde.

La construction d'une pile à eau lourde de puissance nulle ne se justifie que comme un premier pas pour un projet plus important.

Des expériences nombreuses sur la physique des réseaux à eau lourde ont été réalisées, notamment au Canada, en Suède, en France et les résultats sont abondamment publiés, ce qui dispense d'entreprendre des mesures de caractère général. Par contre, une expérience critique est irremplaçable pour fournir une évaluation précise de la réactivité initiale d'un réacteur de puissance ou d'un prototype.