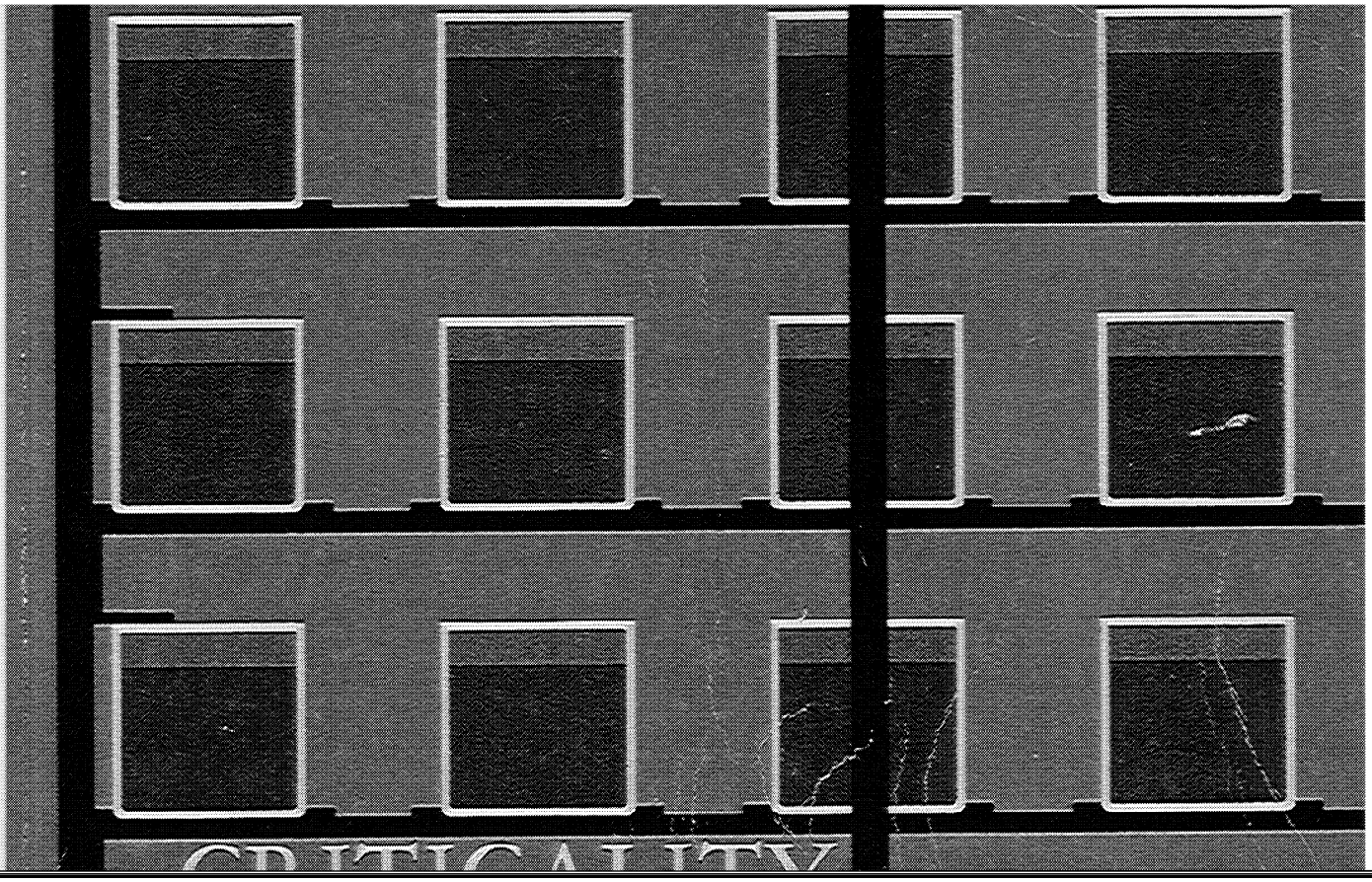
C. CLOUET d'ORVAL, E. DEILGAT, M. HOUELLE, AND P. LECORCHE, "EXPERIMENTAL RESEARCH IN FRANCE ON CRITICALITY PROBLEMS," (IN FRENCH) IN PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM CRITICALITY CONTROL OF FISSILE MATERIALS, STOCKHOLM, 1-5 NOVEMBER 1965 (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1966), PP. 193-213.



LA RECHERCHE EXPERIMENTALE FRANCAISE EN MATIERE DE CRITICITE

C. CLOUET D'ORVAL, E. DEILGAT, M. HOUELLE
ET P. LECORCHE
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE,
PARIS, FRANCE

Abstract — Résumé

EXPERIMENTAL RESEARCH IN FRANCE ON CRITICALITY PROBLEMS. Before 1964, some of France's experimental facilities for criticality studies were installed at Saclay. Here, fundamental experiments were carried out with solutions of plutonium, uranium-235 and uranium-233 in cylindrical geometries, which were either bare or were reflected with different types of reflector (PROSERPINE and ALECTO). Since 1962 experiments have been carried out with rig B at the Criticality Station of the Valduc Research Centre with a view to studying the storage of plutonium solutions in annular cylinders (500 mm × 300 mm, 500 mm × 200 mm and 500 × 350 mm); other special experiments have been devoted to the safety of apparatus containing plutonium nitrate in a homogeneous solution. The French programme provides for the continuation of the experiments carried out with rig B (interaction of 2-9 cylinders with a diameter of 250 mm), the bringing into operation of CASTOR and POLLUX with a view to determining the coupling coefficients between two 300-mm cylinders containing uranium-235 nitrate, the bringing into service of rig D (studying of the safety of a plutonium metal solution) and finally for the carrying out of very sub-critical pulsed-neutron-source experiments aimed at providing information on critical parameters.

LA RECHERCHE EXPERIMENTALE FRANCAISE EN MATIERE DE CRITICITE. Jusqu'en 1964, les moyens expérimentaux français en matière de criticité ont été en partie installés à Saclay, où ont été réalisées des expériences fondamentales sur les solutions de plutonium, d'uranium-235 et d'uranium-233 en géométrie cylindrique nue ou réfléchie par divers types de réflecteurs (PROSERPINE et ALECTO). Depuis 1962, des expériences destinées à l'étude du stockage des solutions de plutonium dans des cylindres annulaires (cylindres de 500 mm × 300 mm, 500 mm × 200 mm et 500 mm × 350 mm) ainsi que des expériences particulières concernant la sécurité d'appareils contenant du nitrate de plutonium en solution homogène sont effectuées à la Station de criticalité du Centre d'études de Valduc, avec l'appareillage B. Le programme français porte sur la suite des expériences menées avec l'appareillage B (interaction de deux à neuf cylindres de 250 mm de diamètre), sur la mise en service de l'ensemble CASTOR ET POLLUX destiné à définir les coefficients de couplage entre deux cylindres de 300 mm contenant du nitrate d'uranium-235, sur la mise en service de l'appareillage D (étude de la sécurité d'une dissolution de plutonium métal), et enfin sur une recherche des paramètres critiques au moyen d'expériences très sous-critiques menées à l'aide de sources de neutrons pulsés.

La sécurité des installations traitant les combustibles nucléaires (plutonium-239, uranium-233, uranium enrichi) est fondée sur la connaissance des conditions critiques des appareils utilisés dans ces installations.

En France, les principaux problèmes de criticité ont trouvé leur réponse, soit par des résultats fondamentaux obtenus à partir d'expériences étrangères, soit par de nouvelles expériences qui ont permis, d'une part, d'étudier des géométries particulières et d'autre part, de mettre au point de nouvelles méthodes de calcul (diffusion, transport, Monte-Carlo). Ces expériences ont été menées de 1958 à 1964 à Saclay dans le bâtiment PROSERPINE et à partir de 1962 à la Station de criticalité du Centre d'études de Valduc.

Nous allons présenter ci-après les moyens mis en œuvre ainsi que notre programme expérimental.

1. LE LABORATOIRE DE SACLAY

1.1. Le bâtiment [1]

Le bâtiment utilisé est un hall étanche de 30 m × 15 m × 10 m entièrement entouré de murs de béton de 1,30 m d'épaisseur et de 5 m de hauteur. Au-dessus et jusqu'à 10 m ou trouve des épaisseurs de 60 ou 30 cm de béton. La salle de contrôle est contiguë à ce hall destiné à abriter les expériences. Le bâtiment comporte en outre un laboratoire de chimie, une salle de décontamination, un laboratoire d'électronique, un atelier de mécanique ainsi qu'un laboratoire de construction d'appareils de physique. Dans le hall de ce bâtiment ont été installés deux dispositifs expérimentaux de longue durée: la pile PROSERPINE et l'expérience ALECTO.

1.2. La pile PROSERPINE [1-5]

Cet appareillage a servi initialement aux études physiques d'un milieu homogène composé de sulfate de plutonium et d'eau, puis à la comparaison de deux éléments fissiles, le plutonium et l'uranium-235, par une reprise des premières expériences en utilisant cette fois de l'uranium enrichi à 90%.

1.3. Les expériences ALECTO

Ces expériences, d'une utilisation plus souple que la pile PROSERPINE, portent sur l'étude des conditions critiques de récipients cylindriques contenant des solutions à concentration variable en éléments fissiles. Ces récipients peuvent être soumis à diverses conditions de réflexion et éventuellement être mis en interaction avec d'autres unités fissiles. Les cylindres utilisés ont des diamètres compris entre 20 et 50 cm et une hauteur utile de 100 cm. Chaque installation se compose essentiellement de deux cabines étanches, l'une contenant l'assemblage critique, l'autre le stockage de la solution fissile.

1.3.1. ALECTO I [5-8]

Cette expérience concerne le plutonium; elle a aussi été effectuée avec de l'uranium-233. La cabine pile contient la cuve à l'essai surmontée d'une boîte à gants enfermant deux barres de sécurité, une barre de commande et l'appareil de mesure du niveau de solution. La cuve peut être entourée d'un réflecteur infini d'eau, d'un réflecteur solide (béton, bois, paraffine) ou d'un réflecteur composite. La solution est stockée dans des réservoirs annulaires de 40 mm d'épaisseur réfléchis intérieurement par de la paraffine; une feuille de cadmium est intercalée entre le réservoir et la paraffine. Le transfert de la solution fissile du stockage à la cuve expérimentée s'effectue à l'aide d'une pompe. Deux vannes à ouverture rapide assurent la vidange de la solution par gravité en cas d'incident.

1.3.2. ALECTO II [5, 7-9]

Cet appareillage, analogue à ALECTO I, est destiné aux études faites avec des solutions nitriques aqueuses d'uranium enrichi à 90%.

2. LA STATION DE CRITICALITE DU CENTRE D'ETUDES DE VALDUC

2.1. Le bâtiment (fig. 1)

Celui-ci a déjà été décrit lors du Colloque de Karlsruhe de 1961 [1]. Rappelons qu'il comprend trois cellules expérimentales, deux de 9 m × 12 m × 10 m et une de 19 m × 12 m × 10 m. A chaque cellule est associée une sous-cellule utilisée pour les stockages. L'ensemble cellule/sous-cellule est entouré de murs de béton d'une épaisseur de 1,46 m; le plafond a 70 cm d'épaisseur. A l'intérieur des cellules, les dispositifs expérimentaux sont enfermés dans des caissons étanches démontables maintenus en dépression par rapport à l'environnement. La conduite des expériences se fait depuis deux salles de contrôle contiguës aux cellules. La Station comprend également des salles de décontamination, des laboratoires de chimie, un atelier de mécanique, un atelier d'électronique ainsi que diverses annexes. Dans chacune de ces cellules sont installés des appareillages en exploitation ou en cours de montage. Ainsi dans la cellule 2 nous trouvons l'appareillage «B» et dans la cellule 1 les expériences «CASTOR ET POLLUX» et «D».

2.2. L'appareillage B (fig. 2)[1]

Destiné à l'étude des conditions critiques de récipients de géométries diverses (isolés ou en interaction, avec ou sans réflecteurs), cet appareillage utilise des solutions aqueuses de nitrate de plutonium. Il comprend le dispositif expérimental en cellule et les stockages en sous-cellule. Les récipients à expérimenter sont placés dans une cuve de 2,10 m × 3,20 m × 1,50 m pouvant contenir de l'eau ou supporter les réflecteurs solides. Ils sont reliés par des tuyaux souples à une arrivée de solution fissile placée au centre de la cuve et comportant sept départs. Les récipients sont munis de barres de sécurité et de dispositifs de contrôle de niveau (sensibilité: 1/100 mm). La solution fissile est stockée dans une boîte à gants en sous-cellule, et sa montée s'effectue au moyen d'une pompe centrifuge à travers une vanne motorisée qui règle le débit. La solution fissile descend par gravité à travers deux vannes pneumatiques placées en parallèle. L'eau servant de réflecteur est stockée dans une sous-cellule et véhiculée d'une manière analogue à celle de la solution fissile. Le niveau d'émission neutronique est contrôlé par compteurs BF_3 et chambres d'ionisation. Cet appareillage est en exploitation depuis 1962 et a servi aux diverses études décrites ci-après.

2.2.1. Etude des cylindres annulaires [8, 10, 11]

Cette géométrie est particulièrement adaptée à la réalisation de stockages économiques. En outre elle permet l'étude d'effets secondaires et, par là même, la mise au point de diverses méthodes de calcul. Les récipients étudiés ont un diamètre extérieur de 50 cm et un diamètre intérieur de 20, 30 et 35 cm; la hauteur utile est de 1 m. Ce sont des récipients en acier inoxydable de 3 mm d'épaisseur de paroi. Ces cylindres ont été étudiés

dans diverses conditions de réflexion (voir annexe I) et pour des concentrations en plutonium total allant de 20 à 190 g/l.

a) Cylindre de 500 mm × 300 mm. Ce cylindre a été étudié seul ou en interaction avec un autre cylindre identique. Sur ce récipient a été mesuré l'effet de l'épaisseur d'un anneau d'eau réflecteur intérieur ainsi que l'effet d'un noyau d'eau cylindrique coaxial de diamètre variable.

b) Cylindre de 500 mm × 200 mm. Celui-ci a été étudié isolé. Sur ce cylindre très réactif ont été mesurés les effets de l'acidité libre du plutonium-240 ainsi que l'influence d'un mannequin.

c) Cylindre de 500 mm × 350 mm. Ce récipient très peu réactif a été étudié isolé.

2.2.2. Etudes particulières

L'étude de la sécurité d'un mélangeur-décanteur de l'usine de la Hague a été réalisée en assimilant cet appareil à une plaque de 1,20 m × 1,50 m et de 10 cm d'épaisseur. L'élément fissile utilisé est encore dans ce cas le plutonium. Deux campagnes ont eu lieu, chacune pour une acidité libre différente.

2.3. Neutrons pulsés [12]

La technique des neutrons pulsés appliquée à la détermination des paramètres critiques a été testée sur un cylindre de 30 cm de diamètre extérieur contenant une solution aqueuse de nitrate de plutonium de hauteur constante et de concentration en plutonium variable. Elle nous a permis de déterminer une valeur approchée de la concentration «prompt-critique» à partir d'expériences faites à des états très sous-critiques. Cette même méthode est en cours d'application sur une géométrie plus complexe: cylindre annulaire de 500 mm × 300 mm, la source de neutrons étant placée dans la cavité centrale.

2.4. L'appareillage CASTOR ET POLLUX (fig. 3)

Cet ensemble expérimental a été, à l'origine, construit pour le laboratoire de Saclay. Par suite d'une nouvelle orientation des activités de ce laboratoire il a été transporté à la Station de criticalité de Valduc où il sera mis en œuvre. Destiné à l'étude des coefficients de couplage entre deux unités fissiles, cet ensemble utilisera des solutions homogènes aqueuses de nitrate d'uranyle (uranium enrichi à 90%). De conception analogue à celle de l'expérience ALECTO II, dont il utilise une partie du matériel, cet ensemble comporte deux récipients cylindriques en interaction de 30 cm de diamètre, surmontés chacun d'une boîte à gants contenant les appareils de sécurité et de mesure de niveau. La distance entre ces récipients peut varier entre 0 et 2,20 m. A l'aide de cet appareil nous déterminerons tout d'abord les paramètres critiques pour diverses concentrations en uranium, puis, par des méthodes dynamiques, nous nous assurerons de la validité des équations cinétiques couplées et des constantes nucléaires utilisées.

2.5. L'appareillage D (fig. 3)

Cet ensemble servira à la détermination des conditions critiques liées à une dissolution de plutonium métal. Il simulera un dissolveur de géométrie cylindrique réfléchi par de l'eau dans lequel le lingot métallique, de masse variable, sera immergé dans une solution homogène de nitrate de plutonium. Installé dans la cellule 1, il comprend un récipient cylindrique d'un diamètre compris entre 10 et 30 cm, d'une hauteur utile de 80 cm. Le lingot, de forme cylindrique, sera coaxial au récipient. Ce cylindre est placé dans une cuve contenant le réflecteur d'eau et surmonté d'une boîte à gants contenant différents mécanismes de contrôle. L'eau peut être évacuée très rapidement et constitue ainsi le système de sécurité. Les stockages sont situés en sous-cellule ainsi que les pompes servant au transfert de la

REFERENCES

[1] BERTRAND, J., BRETON, D., CAIZERGUES, R., CLOUET D'ORVAL, C., DEILGAT, E., MOLBERT, M., VERRIERE, P., «Organisation de la recherche expérimentale en matière de criticalité», C.r. symp. Contrôle de la criticalité dans les installations chimiques et métallurgiques, Karlsruhe, mai 1961, OCDE, Paris (1961) 537.

[2] BERTRAND, J., BONNAURE, P., CLOUET D'ORVAL, C., CORPEL, J., de LAMARE, J., LECOUSTEY, P., PREVOT, J., ROCHE, R., SAUVE, M., TACHON, J., VENDRYES, G., «PROSERPINE, expérience critique homogène avec le plutonium», Actes 2e Conf. Int. util. EAFP 12, Genève (1958) 539-62 (trad. angl.).

[3] TACHON, J., Etude neutronique d'une pile à neutrons thermiques au plutonium: PROSERPINE, CEA 1547 (1960).

[4] BRUNET, J.P., CAIZERGUES, R., CLOUET D'ORVAL, C., PROSERPINE ^{239}Pu, PROSERPINE ^{235}U: Comparaison de résultats expérimentaux, CEA 2452 (1964).

[5] BRUNA, J.G., BRUNET, J.P., CAIZERGUES, R., CLOUET D'ORVAL, C., VERRIERE, P., « Résultats d'expériences critiques homogènes réalisées avec le plutonium-239, l'uranium-235 et l'uranium-233», ces compres rendus (SM 70/22).

[6] BRUNA, J., BRUNET, J.P., CAIZERGUES, R., CLOUET D'ORVAL, C., KREMSER, J., LECLERC, J., VERRIERE, P., ALECTO, expérience de criticité sur une solution de plutonium, CEA 2274 (1963).

[7] BRUNA, J., BRUNET, J.P., KREMSER, J., CLOUET D'ORVAL, C., Expérience de criticité sur une solution de plutonium et d'uranium enrichi à 90% cuve de Ø 300 mm, CEA 2453 (1964).

[8] PAXTON, H.C., THOMAS, J.T., CALLIHAN, D., JOHNSON, E.B., Critical dimensions of systems containing ^{235}U, ^{239}Pu and ^{233}U, TID 7028 (1964).

[9] BRUNET, J.P., CLOUET D'ORVAL, C., ALECTO II, Etudes d'interaction, CEA 2561 (1965).

[10] MOLBERT, M., SAUVE, A., HOUELLE, M., DEILGAT, E., Expériences de criticité sur des cylindres annulaires contenant des solutions de plutonium, CEA R 2495 (1964).

[11] ITHURRALDE, M.F., KREMSER, J., LECLERC, J., LOMBARD, C., MOREAU, J., ROBIN, C., Interprétation des expériences sur des milieux homogènes fissiles de plutonium et d'uranium, CEA 2488 (1964).

[12] BRUNA, J., BRUNET, J.P., HOUELLE, M., TELLIER, H., « Etude des milieux multiplicateurs homogènes à l'aide de sources pulsées de neutrons », Pulsed Neutron Research II, AIEA, Vienne (1965) 157-78.

[13] CAIZERGUES, R., FIEGEL, A., ITHURRALDE, M.F., « Interprétation des résultats expérimentaux obtenus à la Station de criticalité de Valduc», ces comptes rendus (SM-70/23).

There was no discussion on this paper