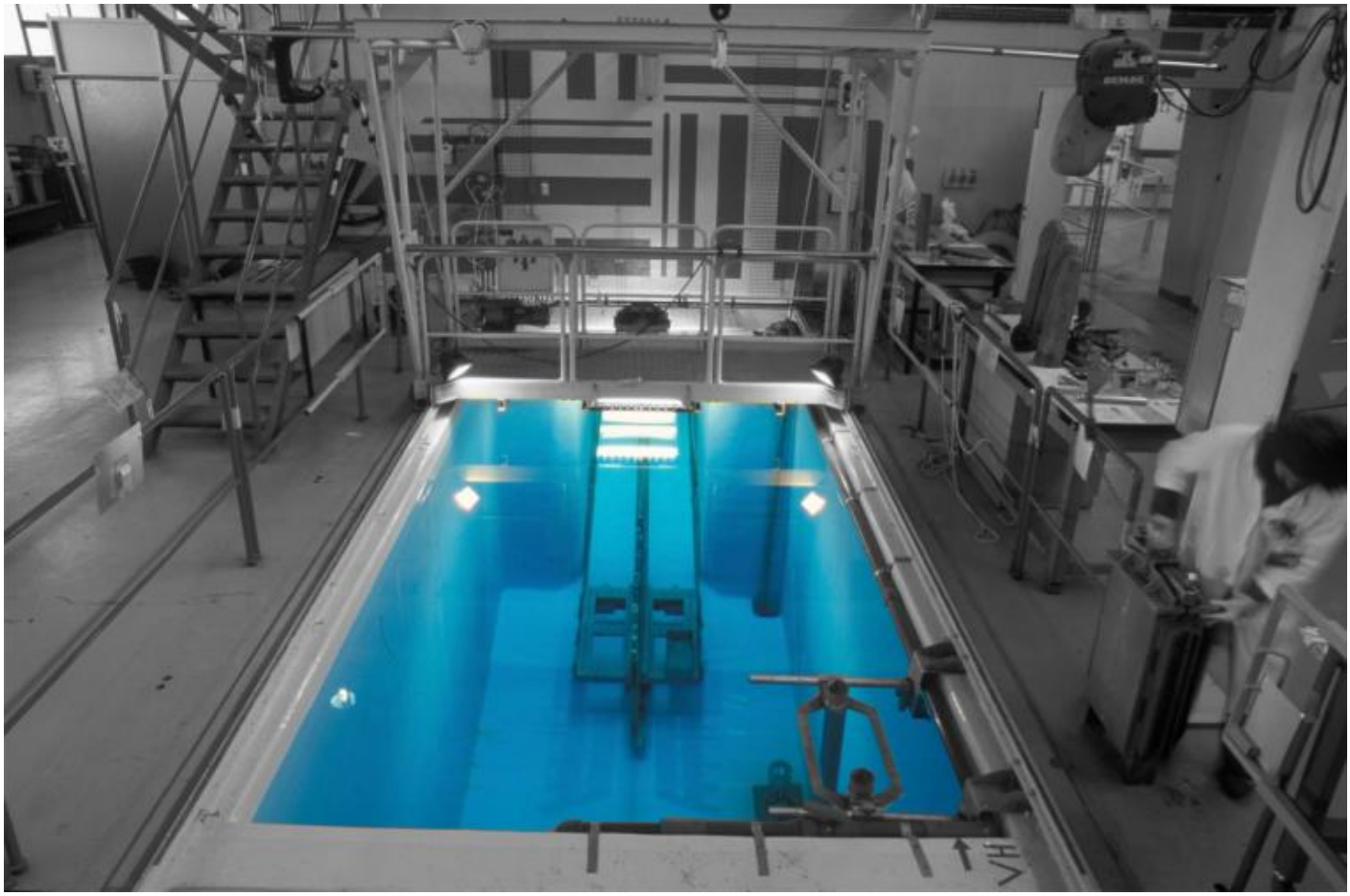
ARC-nucleART
Atelier de Recherche et de Conservation

L'irradiateur d'ARC-Nucléart



Principes et moyens d'irradiation

1. Généralité

L'irradiateur est un irradiateur « de type piscine ». Il est constitué d'une piscine remplie d'eau, où sont entreposées des sources radioactives de cobalt 60 (^{60}Co) émettrices de rayonnement gamma intense, et d'une cellule d'irradiation, sorte de casemate en béton, reliée à la piscine via un canal passant sous le mur les séparant. La fonction de l'eau de la piscine est de faire écran au rayonnement gamma. La protection des personnes dans l'installation est donc assurée soit par l'épaisseur d'eau les séparant des sources, soit par l'épaisseur de béton des murs quand les sources sont en cellule.
Les irradiations peuvent être réalisées en cellule, avec des sources déplacées depuis la piscine par un système de chariot mobile, ou en piscine, dans des conteneurs immergés et déposés à proximité de sources disposées en fond de piscine.

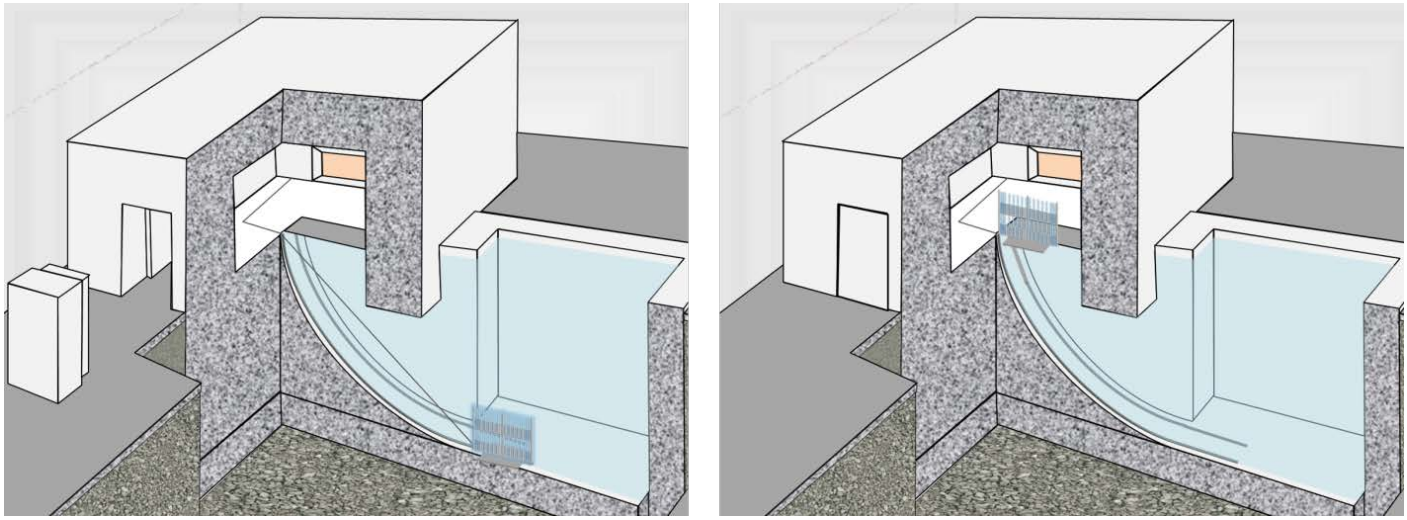


Fig.A1-1 - Schéma de principe du fonctionnement de l'irradiateur (irradiation en cellule).

Lorsque toutes les sources sont en piscine, l'accès à l'intérieur de la cellule est autorisé via une porte en béton, de même épaisseur que les murs. Une fois la cellule évacuée et cette porte fermée, les sources préalablement disposées sur un panneau dit « porte-sources » peuvent être treuillées depuis la piscine jusqu'à l'intérieur de la cellule via le canal. Emergeant de l'eau, elles irradient l'intérieur de la cellule de part et d'autre du panneau.

Nous réalisons typiquement des irradiations de l'ordre de quelques dizaines de Gray* (Gy) à plusieurs centaines de kiloGray (kGy). Les débits de dose correspondants, assimilables à l'intensité du rayonnement, sont de l'ordre de quelques dizaines de Gy/h à 1 ou 2 kGy/h.
** le Gy est l'unité de dose reçue dans la matière, elle correspond à l'absorption d'une énergie de 1 J par kg de matière irradiée.*

Caractéristiques principales :

- *Activité totale autorisée : 3700 TBq de ^{60}Co (100 000 Ci), activité classique ces dernières années : de 1000 à 2500 TBq suivant la décroissance du ^{60}Co et le renouvellement des sources*
- *Profondeur de la piscine : 4,25 m*
- *Epaisseur des murs de la cellule : 1,50 m*
- *Dimensions intérieures de la cellule : 4,00 m x 4,00 m sur 2,60 m de hauteur sous plafond (2,00 m utile sous le pont roulant)*

2. Les sources radioactives émettrices du rayonnement gamma

Les irradiateurs gamma qu'ils soient dédiés à la recherche ou aux applications industrielles utilisent quasi exclusivement des sources de ^{60}Co. En effet, ce radioélément cumule de nombreux avantages :

- émission de deux photons gamma de 1,17 MeV et 1,33 MeV particulièrement pénétrant pour chaque désintégration bêta,
- période ni trop courte ni trop longue de 5,27 années permettant une exploitation jusqu'à 20 ans mais aussi une gestion facilité du recyclage ou de la mise aux déchets après décroissance radioactive de plusieurs dizaines d'années,
- forme métallique stable et solide.

Ce type de radioélément est fabriqué en réacteur nucléaire, par activation à partir de cobalt stable ultra pur. Le principe de cette activation par capture neutronique puis de sa désintégration est rappelé dans les schémas qui suivent :

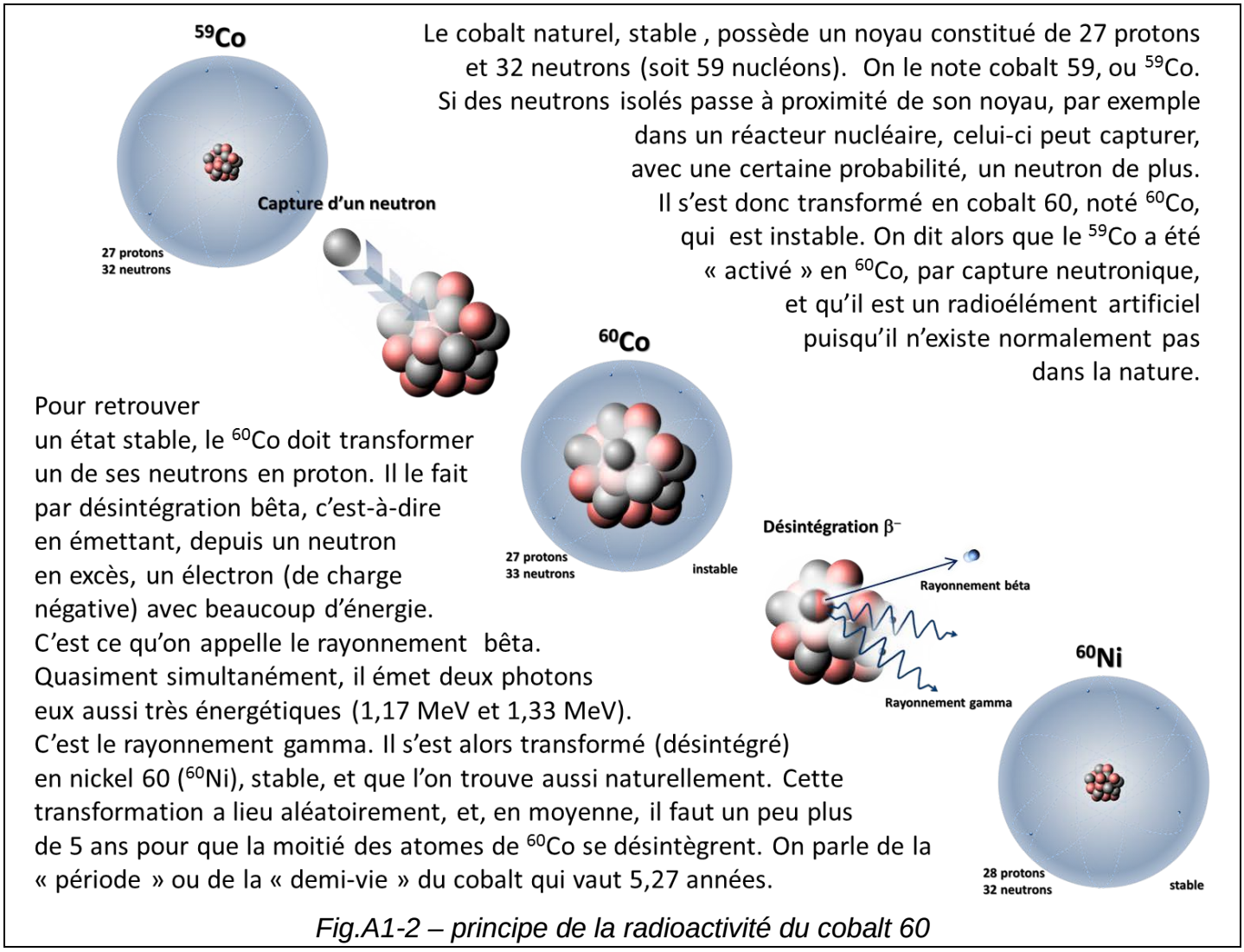


Fig.A1-2 – principe de la radioactivité du cobalt 60

Nos sources de ^{60}Co sont des sources dites « scellées », c'est-à-dire qu'elles sont présentées de manière à prévenir tout risque de contamination. La matière radioactive, déjà sous forme métallique peu dispersable, est confinée sous une double enveloppe en acier inoxydable complètement étanche. Ces enveloppes sont, par contre, quasi transparentes au rayonnement gamma (à noter que le rayonnement bêta qui ne nous intéresse pas est quant à lui stoppé dans la source et dans les enveloppes).

Les sources dont nous disposons actuellement sont de type C-188 fournies par MDS-Nordion, servant de standard en particulier pour l'irradiation industrielle.

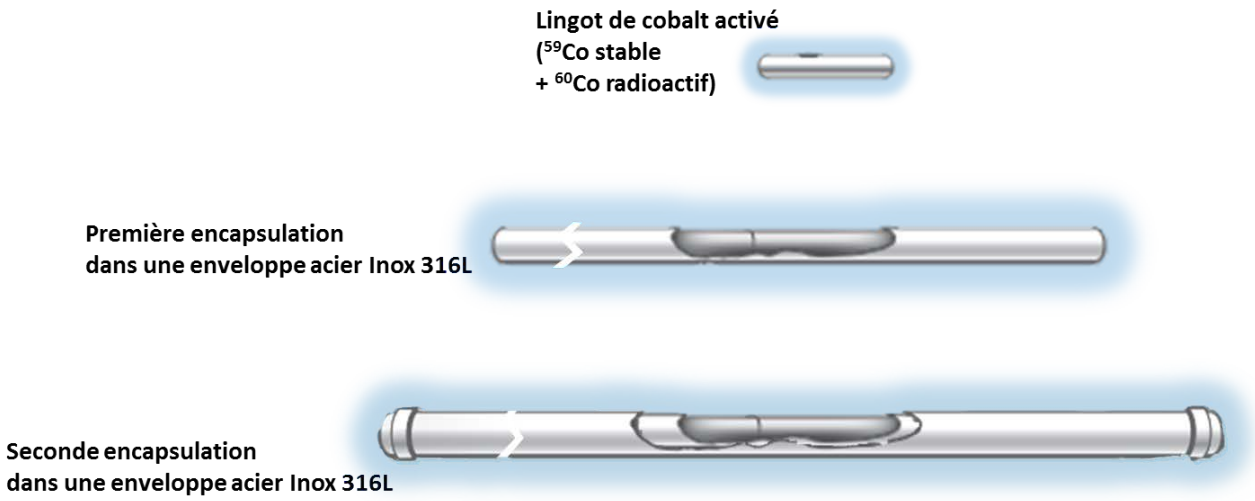


Fig.A1-3 - Schéma des sources radioactives « industrielles » de ^{60}Co

Principales caractéristiques des sources de type C-188 :

- *Dimensions : 45 cm de longueur pour 11 mm de diamètre*
- *Composition : acier Inox 316L et pastilles de cobalt (^{60}Co + ^{59}Co)*
- *Agréées « matière radioactive sous forme spéciale » vis-à-vis de la réglementation des transports de matières dangereuses, et certifiées selon la classification E65646 dans la norme ISO-2919. (Ces agréments et normes garantissent le confinement de la matière radioactive même en cas d'agressions très sévères, et, par-là, leur caractère non contaminant)*
- *Activité typiquement comprise entre 10 et 300 TBq (suivant l'activité initiale et la décroissance radioactive).*

ARC-Nucléart – CEA Grenoble 17, rue des Martyrs F 38054 GRENOBLE CEDEX 9 tel. +33 (0)4 38 78 35 52 fax +33 (0)4 38 78 50 89 nucleart@cea.fr www.arc-nucleart.fr

3. Irradiations en cellule

Pour irradier en cellule, les sources sont au prélable réparties sur un panneau porte-sources. Cette opération est réalisée en piscine, les sources étant manipulées grâce à des perches au travers de l'eau.
Cette répartition se fait en général de manière à obtenir une intensité de rayonnement (débit de dose) la plus homogène possible de part et d'autre du panneau porte-sources. Notre panneau est divisé en quatre éléments (rack de sources) proposant chacun 13 emplacements, ce qui fait un total de 52 emplacements possibles.

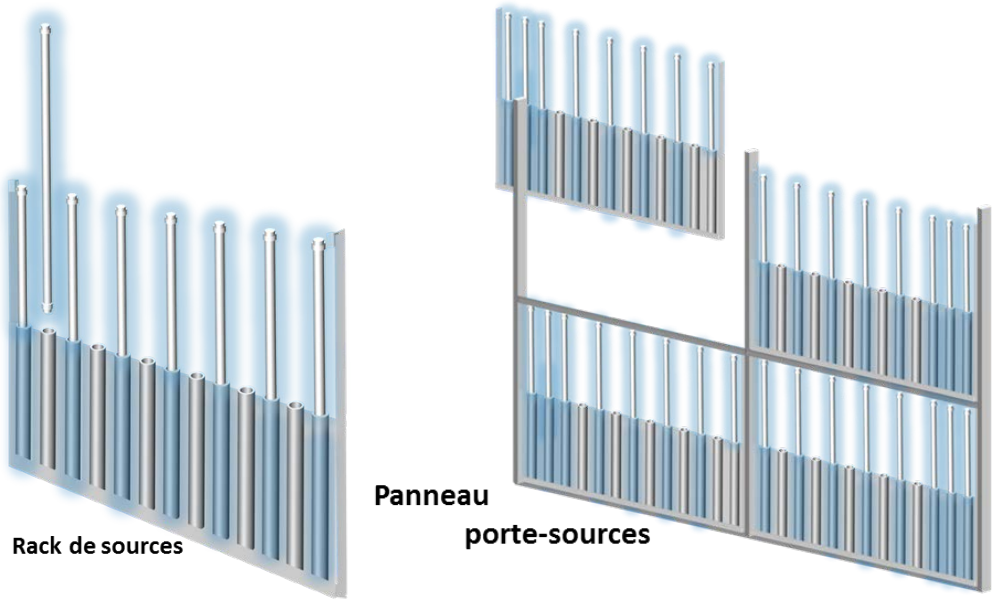


Fig.A1-4 - Schéma du panneau porte-sources

C'est ensuite l'ensemble du panneau porte-sources qui est treuillé en cellule sur un chariot mobile, délimitant deux zones d'irradiation symétriques de chaque côté de ce panneau.

Fig.A1-5 – Panneau porte-sources en cellule d'irradiation

Pour obtenir le débit de dose désiré, il est donc possible de jouer d'une part sur la composition du panneau porte-sources et d'autre part sur la distance à celui-ci dans l'espace disponible de la cellule.

Pour des raisons de sûreté de l'installation, il est interdit de se rapprocher à moins de 10 cm du panneau porte-sources.

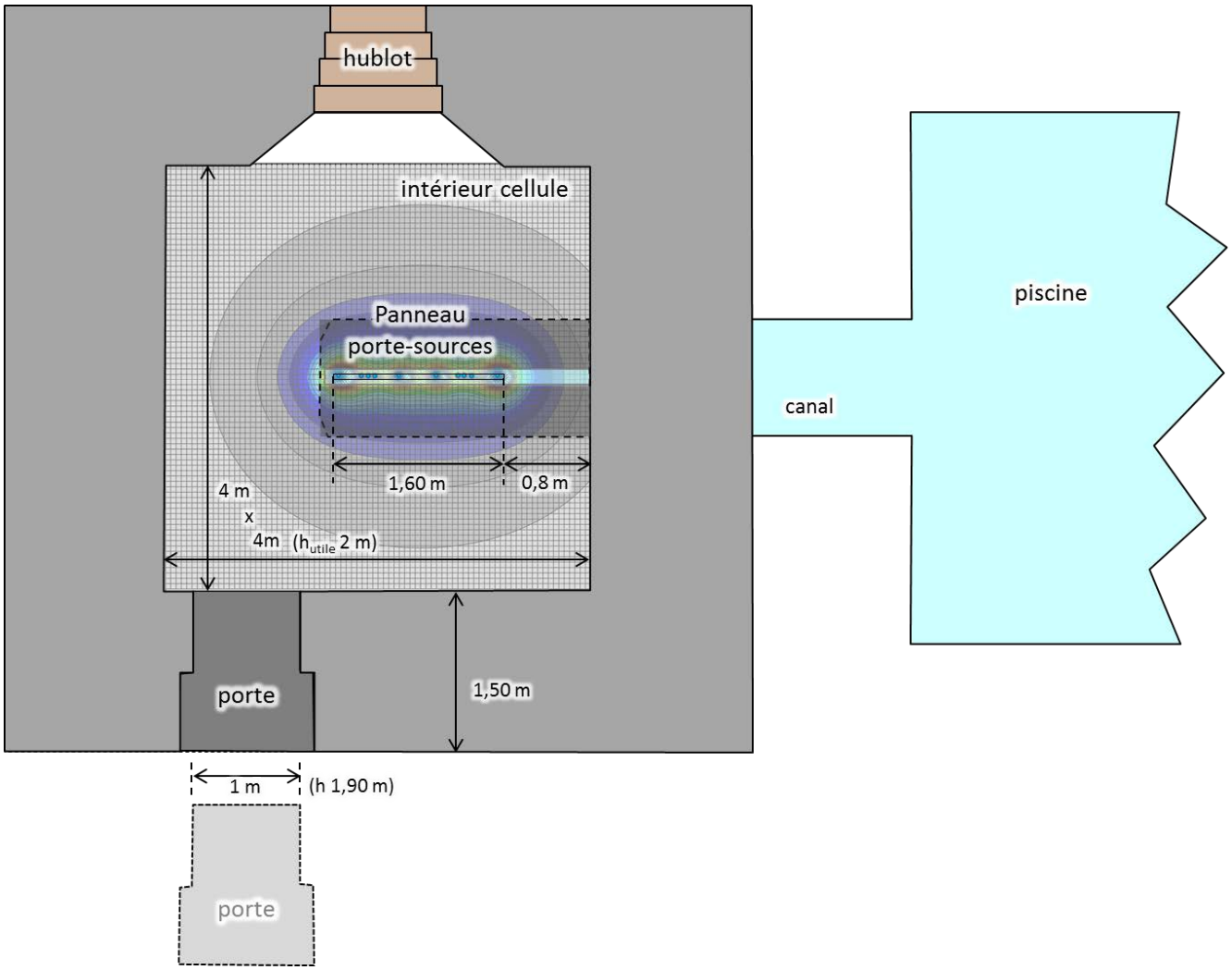


Fig.A1-6 – Schéma de la cellule d'irradiation (vue de dessus)

En configuration nominale, on cherche à obtenir un débit de dose de l'ordre ou supérieur à 1 kGy/h à une distance de 20 cm du panneau porte-sources. Dans la configuration actuelle, après rechargement effectuée en mai 2015, ce débit est de l'ordre de 2 kGy/h.

La dose totale intégrée par les matériels en cellule est le produit d'intégration du débit de dose sur le temps d'exposition.

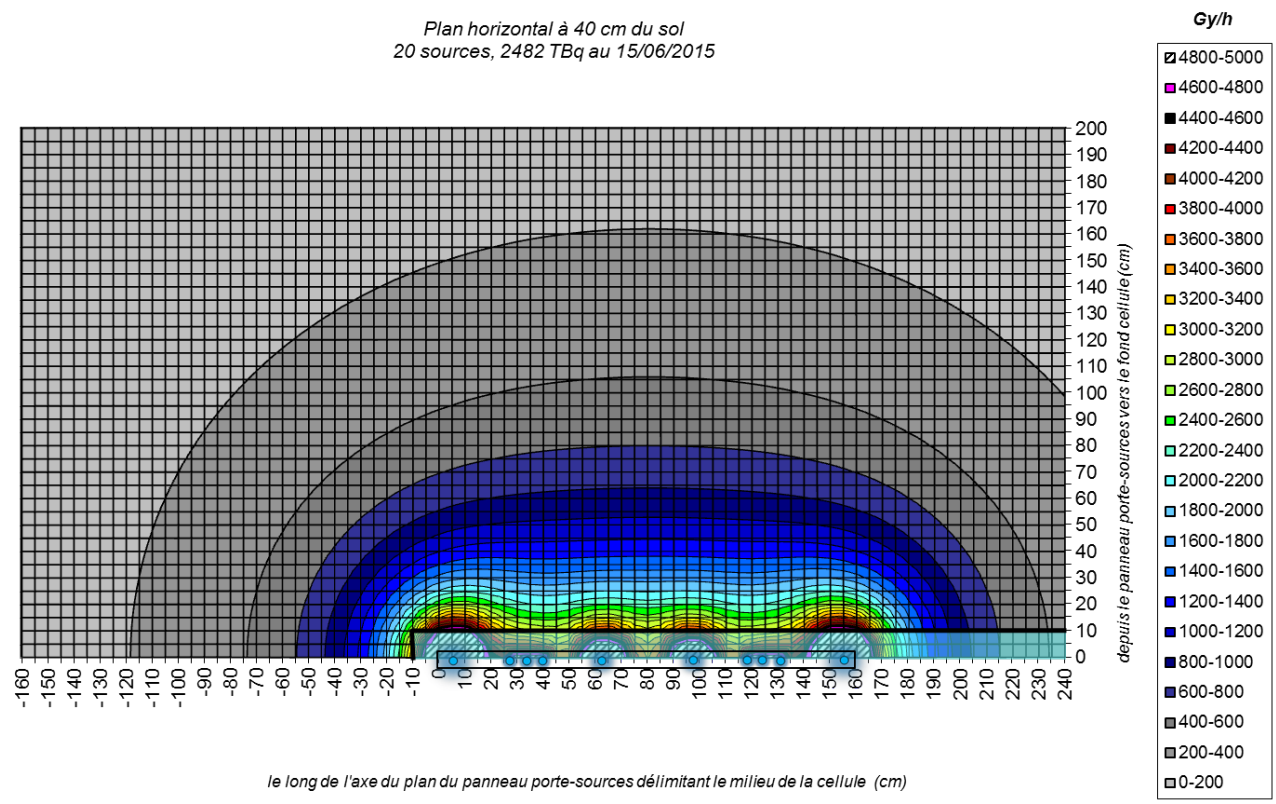


Fig. A1-7 - Isodoses dans une moitié de cellule, vue de dessus, en configuration nominale après rechargement.

Principales caractéristiques de la cellule :

- *Dimensions intérieures de la cellule : 4,00 m x 4,00 m sur 2,60 m de hauteur sous plafond (2,00 m utile sous le pont roulant)*
- *Dimension de la porte de la cellule (zone arrière cellule) : 1,90 m de hauteur, 1,00 m de large, 1,50 m de profondeur*
- *Hublot en verre au plomb de 1 m d'épaisseur en face avant*
- *Passages courbes au travers des murs (Φ 25 mm) pour connexions diverses*
- *Pont roulant de 1 tonne en cellule*
- *Système de sécurité interdisant l'accès à la cellule en présence de sources : clés prisonnières + automate.*
- *Télémanipulateurs (non utilisés pour la télémanipulation d'objets, ils constituent surtout un élément de sûreté permettant d'intervenir même en présence de sources en cellule…)*

ARC-Nucléart – CEA Grenoble 17, rue des Martyrs F 38054 GRENOBLE CEDEX 9 tel. +33 (0)4 38 78 35 52 fax +33 (0)4 38 78 50 89 nucleart@cea.fr www.arc-nucleart.fr

4. Irradiation en température dans un caisson de chauffage

Pour certaines irradiations pour lesquelles il est demandé de maintenir une température fixe, en général 70°C, il est possible d'irradier dans un caisson chauffé.
Il s'agit d'un caisson isolé par de la laine de roche sur les faces arrières, dessus et coté, et éventuellement au sol. La face avant est fermée par une tôle en acier inox, de manière à ne pas perdre d'épaisseur qui éloignerait des sources et ferait perdre du débit de dose.
Son volume utile est de 2000 mm x 600 mm x 700 mm.
La température y est régulée via deux régulateurs utilisant deux thermocouples et commandant chacun deux rampes de chauffage constituées de câbles chauffant insérés dans des tubes en acier. Trois autres thermocouples permettaient en plus d'enregistrer la température pendant la durée de l'irradiation.

Fig. A1-8 - Caisson de chauffage (sans sa face avant, avant disposition en cellule et avec sa face avant en cours d'irradiation derrière le panneau porte-sources).

5. Irradiations en piscine

Pour irradier en piscine, il faut disposer des sources de manière fixe et venir positionner à proximité un conteneur renfermant les matériels à irradier.

Nous possédons deux dispositifs permettant ce type d'irradiation :

- Le dispositif Derviche/INTI permet l'irradiation dans un conteneur cylindrique étanche et tournant, assurant une bonne homogénéité des doses. Les sources installées de manière verticale et en couronne autour du conteneur de 16,5 cm de diamètre utile restent fixes au fond de la piscine.
  Il est possible dans ce dispositif de réaliser un balayage en continu avec des gaz au choix pour contrôler l'atmosphère lors des irradiations, et de contrôler la température entre 20 °C et 150 °C. Dans ce cas, un four est installé dans le conteneur, réduisant le volume utile à un cylindre de 13,5 cm de diamètre.

ARC-Nucléart – CEA Grenoble 17, rue des Martyrs F 38054 GRENOBLE CEDEX 9 tel. +33 (0)4 38 78 35 52 fax +33 (0)4 38 78 50 89 nucleart@cea.fr www.arc-nucleart.fr

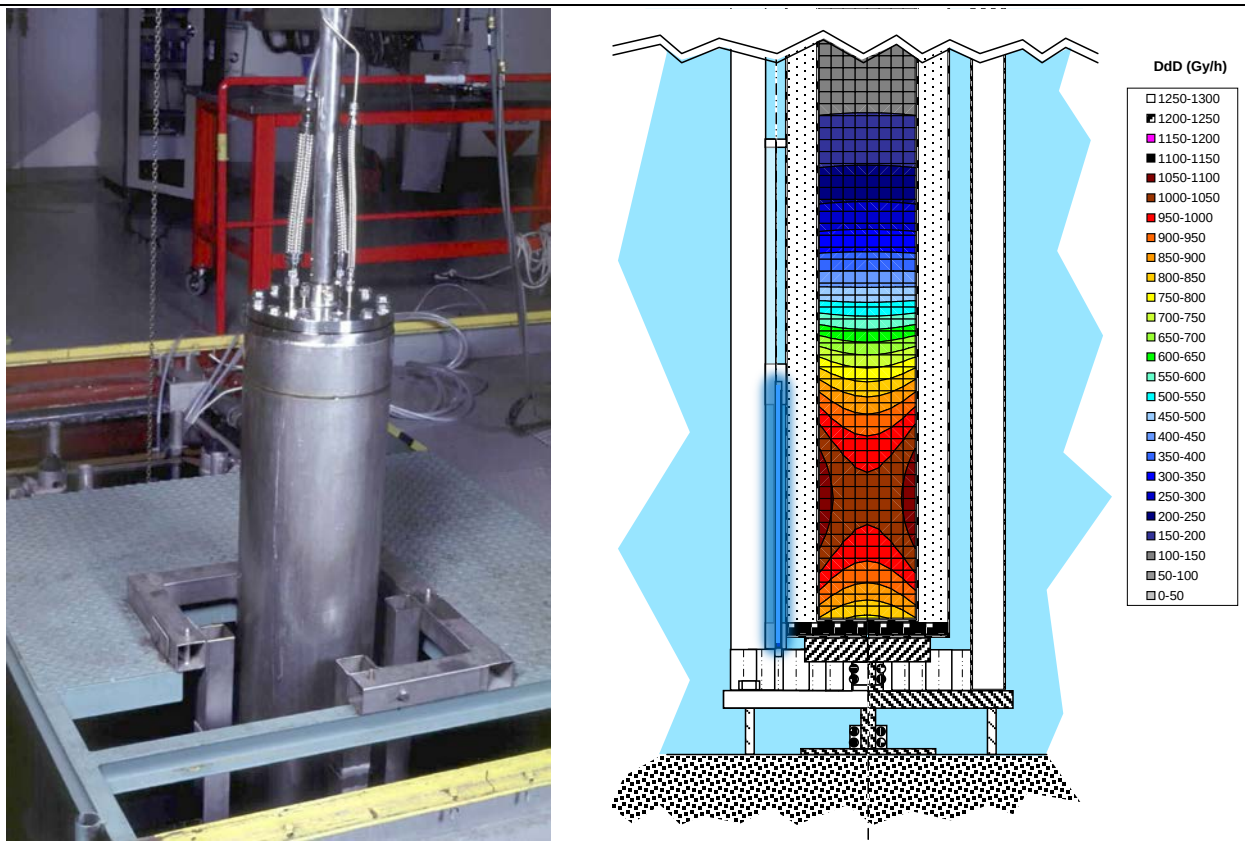


Fig. A1-9 – Conteneur INTI. Le couvercle recevant les passages électriques (pour le chauffage) et les passages de gaz (pour le contrôle atmosphérique) est entraîné dans un mouvement de rotation par un mât motorisé. Le schéma de droite propose une représentation des débits de doses calculés dans le volume d'irradiation utile pour une source C-188 de 270 TBq.

Nous ne possédons pas actuellement de sources dédiées à ce dispositif. Son utilisation suppose donc l'emploi de sources normalement affectées à l'irradiation en cellule.

- Le dispositif AnémoneBio est un conteneur étanche de 15 x 30 cm sur 60 cm de hauteur que l'on peut déposer de manière précise au-dessus de trois sources C-188 en position horizontale, grâce à un système de guidage par deux rails. Il est dédié aux biologistes et biochimistes du CEA Grenoble qui réalisent des irradiations à des débits de dose de quelques dixièmes à quelques Gy/min, suivant la hauteur à laquelle on se place dans le dispositif.

ARC-Nucléart – CEA Grenoble 17, rue des Martyrs F 38054 GRENOBLE CEDEX 9 tel. +33 (0)4 38 78 35 52 fax +33 (0)4 38 78 50 89 nucleart@cea.fr www.arc-nucleart.fr

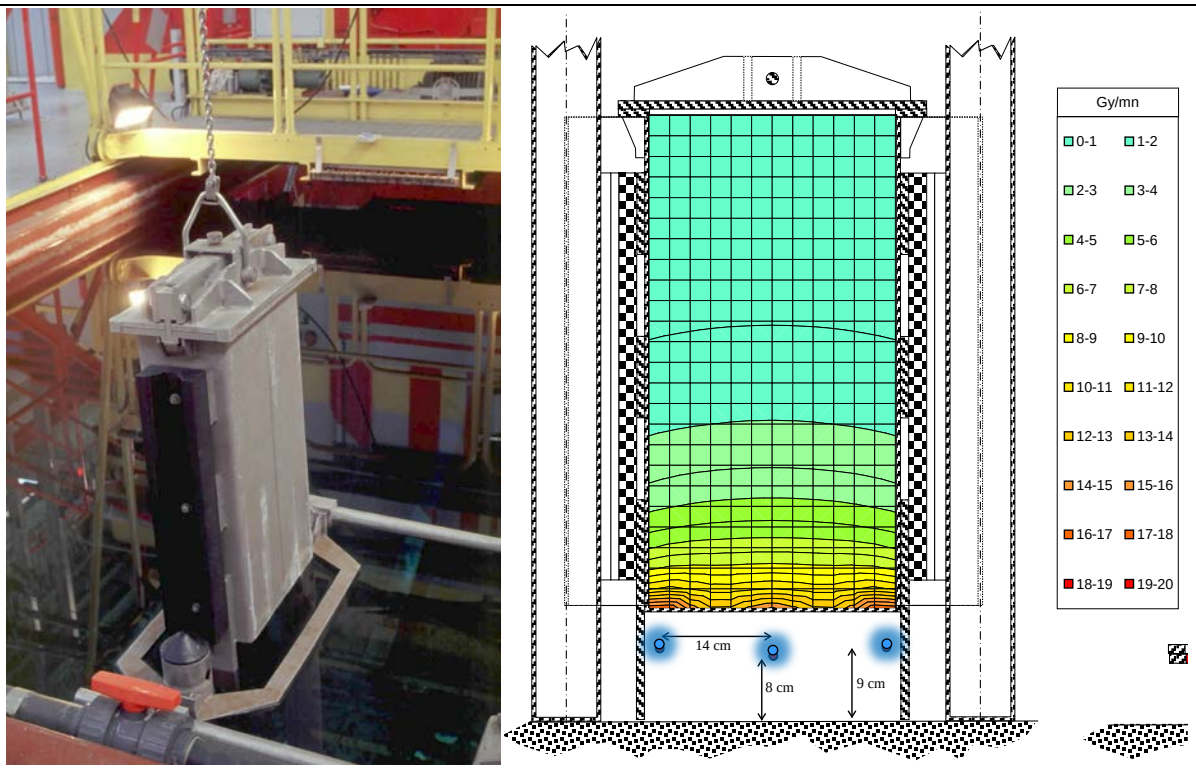


Fig. A1-10 – Dispositif AnémoneBio avec représentation des débits de dose typiques dans le volume utile d'irradiation (pour un total de 125 TBq)

6. Dosimétrie

De manière ordinaire, les débits de dose sont calculés grâce à une modélisation du panneau porte-sources. Les sources sont représentées par des éléments de sources linéiques et le débit de dose en un point est calculé par sommation de la contribution de chacun de ces éléments en se servant de la solution analytique correspondant à cette géométrie. On peut aussi introduire une atténuation par absorption dans des formes géométriques simples. Il s'agit donc d'un calcul du rayonnement direct suivant un modèle dispersif. De manière générale, il permet une prévision à ± 20 % des débits de dose effectivement mesurés. Mais il ne tient pas compte des phénomènes de diffusion qui peuvent perturber de manière significative les résultats en particulier près du sol, des murs ou d'éléments massiques. C'est pourquoi, pour plus de précision, on réalise souvent des dosimétries.

Pour cela, on utilise des dosimètres à lecture optique dont le principe est que la densité optique change avec la dose. Il s'agit de dosimètres de type PMMA (poly-méthylméthacrylate), et plus particulièrement les dosimètres ''Red Perspex'' ou ''Amber Perspex'' fournis par HARWELL Dosimeters Ltd. Ces morceaux de plastique teinté, de 30 x 11 x 3 mm sont conditionnés individuellement dans des blisters aluminisés, de 65 x 50 mm. La lecture après irradiation se fait au moyen d'un spectrophotomètre et d'un comparateur pour une mesure précise de l'épaisseur afin de déterminer la densité optique à une longueur d'onde choisie à laquelle on associe la dose via un polynôme de calibration.

Type de dosimètre	**Amber 3042**	**Red 4034**
Domaine de dose :	1 kGy à 30 kGy	5 kGy à 50 kGy
Longueur d'onde pour la mesure de la densité optique :	603 ou 651 nm	640 nm
Reproductibilité de la variation d'absorbance sur un lot de dosimètres :	2,5 %	2 %
Précision typique attendue compte tenu de l'ensemble de la chaîne de mesure :	10 %	5 à 10 %

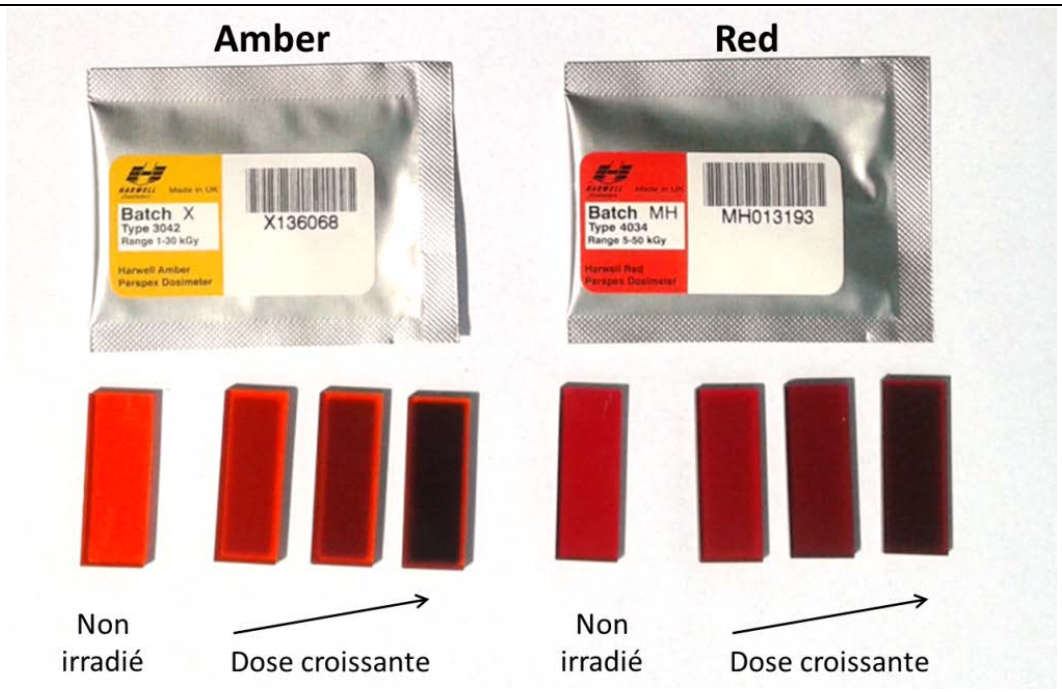


Fig. A1-11 – Dosimètres Amber et Red Perspex