

RADIOPROTECTION OPÉRATIONNELLE À CERN-MEDICIS, UNE INSTALLATION POUR LA PRODUCTION DE RADIONUCLÉIDES NON CONVENTIONNELS POUR LA RECHERCHE MÉDICALE

Fabio POZZI¹, Elodie AUBERT¹, Pierre CARBONEZ¹, Nadine CONAN¹, Matthieu
DESCHAMPS², Alexandre DORSIVAL¹, Charlotte DUCHEMIN¹, Laura
LAMBERT¹, Siria MEDICI³, Stefan ROESLER¹, Thierry STORA¹, Heinz VINCKE¹,
Joachim VOLLAIRE¹

¹CERN

Esplanade des Particules 1, 1211 Meyrin, Suisse

²CERAP,

Route du Nant-d'Avril 150, 1217 Meyrin, Suisse

³CHUV/IRA

Rue du Grand-Pré 1, 1007 Lausanne, Suisse

fabio.pozzi@cern.ch

MEDICIS (*MEDical Isotopes Collected from ISOLDE*) est une installation de recherche du CERN, en fonction depuis fin 2017. MEDICIS vise à fournir une large gamme de radionucléides pour la recherche médicale, dont certains ne peuvent être produits qu'au CERN grâce à l'installation ISOLDE. Ces radionucléides sont principalement destinés aux hôpitaux et aux centres de recherche en Suisse et en Europe. L'extraction par séparation de masse, l'implantation sur des échantillons (aussi appelées collections) et le conditionnement de ces sources radioactives non scellées entraînent un risque d'exposition externe et interne aux rayonnements ionisants, qui doit être correctement évalués et optimisés.

Les radionucléides générés à MEDICIS sont produits en irradiant une cible spécifique sélectionnée en fonction du radionucléide d'intérêt, à l'aide d'un faisceau de protons d'une énergie de 1.4 GeV (produits avec un courant maximal de 2 uA). En plus du radionucléide souhaité, une implantation peut contenir des impuretés liées à la formation de molécules, augmentant le risque radiologique associé.

Le portefeuille de MEDICIS contient plusieurs radionucléides comme le Tb-155, le Cs-129, le Ba-128/Cs-128, le Tm-165. Au cours des deux dernières années, MEDICIS a également mis au point une méthode permettant de produire, en irradiant des cibles en carbure de thorium, des générateurs d'Ac-225 (par décroissance du Ra-225) et de Pb-212/Bi-212 (par décroissance du Ra-224), atteignant des niveaux d'activités records pour l'installation (700 MBq pour le Ra-224 et 110 MBq pour le Ra-225).

D'autres radionucléides, comme le Sm-153, l'Er-169 et l'Yb-175, sont purifiés à MEDICIS, en utilisant la technique de la séparation de masse, à partir d'échantillons irradiés en cyclotrons ou en réacteurs grâce à la collaboration impliquant des instituts partenaires. Un soin particulier est accordé à ces manipulations en effectuant des tests à blanc pour optimiser et valider les modes opératoires.

Le cadre réglementaire pour la protection contre les rayonnements ionisants des personnes travaillant au CERN, ainsi que le public, est défini par l'accord tripartite entre le CERN et ses États hôtes, la France et la Suisse. En ce qui concerne la manipulation des sources radioactives non-scellées, le CERN applique les exigences des secteurs de travail décrites dans la réglementation suisse. Elle exige que la manipulation d'une source radioactive non scellée

dépassant la limite d'autorisation, appelée *LA* (valeur correspondante à la limite de l'activité absolue d'une matière au-dessus de laquelle sa manipulation est soumise à autorisation ; l'inhalation unique d'une activité *LA* provoque une dose efficace engagée de 5 mSv), soit effectuée dans des zones contrôlées aménagées comme des secteurs de travail, Le type de secteur de travail est classé en fonction de l'activité des matières radioactives non scellées manipulées par opération ou par jour :

- type C : une activité de 1 à 100 fois la limite d'autorisation;
- type B : une activité de 1 à 10 000 fois la limite d'autorisation;
- type A : une activité de 1 fois la limite d'autorisation à une limite supérieure définie dans la procédure d'autorisation.

Selon le type de secteur de travail, on appliquera différentes exigences structurelles en termes de ventilation nucléaire, de sécurité incendie et de protection contre les rayonnements ionisants. MEDICIS a été construit respectant les exigences pour un secteur de travail de type A afin de garantir une flexibilité opérationnelle maximale et pour se conformer aux normes les plus exigeantes en termes de sécurité et de protection radiologique.

L'optimisation est un aspect clé de la protection contre les rayonnements ionisants. Elle est obtenue en maintenant le risque d'exposition, le nombre de personnes exposées et l'ampleur de leur dose individuelle aussi bas que raisonnablement possible (ALARA), en tenant compte des facteurs économiques et sociétaux. À MEDICIS le principe ALARA est implémenté selon les modalités suivantes :

- Implémentation technique. L'optimisation à MEDICIS a été envisagée dès la phase de conception avec notamment l'automatisation complète de toutes les phases impliquant la manipulation de cibles irradiées. La phase d'implantation est contrôlée à distance depuis le laboratoire MEDICIS et est réalisée dans une zone fermée protégée du laboratoire MEDICIS par 10 mm de blindage en fer. Une fois la collection terminée, la cible irradiée est placée par un bras robotique à l'intérieur d'une étagère de stockage blindée. La récupération de la collection est effectuée manuellement à l'aide d'une chambre de collection blindée (17 mm d'aluminium) et d'un conteneur de transport blindé (50 mm de plomb) pour limiter l'exposition du personnel. La manipulation des sources non-scellées est effectuée, en fonction du risque radiologique, dans des sorbonnes et/ou dans une boîte à gants.
- Implémentation procédurale. Chaque activité effectuée à MEDICIS doit être déclarée et décrite en détail à l'aide d'un outil électronique dédié, appelé IMPACT (Outil de planification et de coordination des interventions). Le système de management de la dosimétrie opérationnelle est interfacé avec l'outil IMPACT afin d'assurer la traçabilité des doses et la configuration des alarmes des dosimètres opérationnels. L'officier de radioprotection (RPO) de l'installation doit approuver l'opération. Selon le risque radiologique associé, un plan de travail et de dose (WDP, *work and dose planning*) est rédigé par le responsable de l'activité et le RPO pour effectuer une estimation systématique de la dose. Le WDP est associé à un DIMR (Dossier pour l'Intervention en Milieu Radiologique), qui fournit une évaluation radiologique globale en termes de doses individuelles et collectives maximales. Le DIMR définit également le niveau ALARA de l'intervention, selon lequel un parcours d'approbation spécifique est défini. Ce processus nécessite plusieurs échanges entre le RPO et le responsable de l'activité, qui peuvent inclure des tests à blanc pour évaluer la durée et la pertinence des procédures ou des simulations Monte Carlo pour évaluer les débits de dose. Une fois que l'activité approuvée est réalisée, un retour d'expérience opérationnel "clôture" l'activité sur l'outil IMPACT.

MEDICIS est équipé de plusieurs moniteurs de radiations pour assurer une surveillance permanente de l'installation et générer des signaux d'alarme ou d'interverrouillage en cas de niveaux de radiation élevés. Comme le principal danger d'exposition externe est dû à la manipulation de cibles radioactives et à la collection de radionucléides, plusieurs moniteurs de radiation gamma sont installés aux endroits critiques. Un moniteur d'aérosol mesurant les émetteurs alpha/bêta est installé dans chaque laboratoire pour assurer la mesure de la

concentration de leur activité dans l'air. Un moniteur de contamination de type mains pieds est également présent à la sortie du laboratoire MEDICIS. De plus, le RPO, équipé de moniteurs portables classiques, est toujours présent lors de manipulations impliquant un risque radiologique afin de garantir la supervision radiologique des interventions.

Lors de la collection, une fraction des radionucléides précédemment produits à l'intérieur du matériau cible pendant l'irradiation sera également libérée par différents processus : diffusion, désorption et effusion ; ces processus sont amplifiés par la température de fonctionnement de la cible. Certains radionucléides, qui ne sont pas des espèces ionisées et volatiles, se condensent et diffusent le long de la chambre à vide. Les pompes turbo-moléculaires évacuent les espèces volatiles, qui seront ensuite stockées dans des tubes dédiés à assurer leur décroissance radioactive. Les gaz restants sont dirigés vers et stockés dans deux réservoirs de stockage. Les réservoirs doivent être vidangés à certains intervalles après un temps de décroissance supplémentaire afin de garantir la capacité opérationnelle du système de vide. Cette libération des gaz est effectuée par la ventilation nucléaire des laboratoires ISOLDE et MEDICIS. Ce rejet est conditionné par un veto de radioprotection, qui est activé par défaut et doit être retiré par le RPO. Avant de libérer les gaz, un échantillon de gaz est prélevé pour effectuer une spectrométrie et quantifier l'activité qui sera libérée dans l'environnement. Un échantillonneur de tritium prélève également de l'air à l'intérieur de la conduite d'évacuation de la ventilation pendant la durée de la libération pour déterminer l'activité de tritium libérée. La station de surveillance de la ventilation est équipée d'un échantillonneur d'iode, d'un échantillonneur d'aérosols, d'un moniteur de gaz et d'un moniteur d'air alpha/bêta.

Les professionnels travaillant avec des sources radioactives non scellées et/ou en présence de matériaux contaminés ou activés sont exposés au risque d'incorporation de radionucléides. Pour cette raison, un programme de surveillance interne a été mis en place à MEDICIS. Celui-ci est basé sur la réglementation suisse en matière de protection contre les rayonnements ionisants et vise à garantir la détection d'incorporations pouvant entraîner une dose efficace annuelle engagée dépassant 1 mSv. Ce programme est aussi intégré avec certains radionucléides qui ne sont pas présent dans la réglementation suisse mais qui sont manipulés à MEDICIS. Le programme de surveillance comprend :

- des mesures de dépistage *in vivo*, généralement effectuées avec des moniteurs de radiation portables conventionnels afin d'évaluer si un seuil d'incorporation a été dépassé ;
- des mesures d'incorporation (effectuées si un seuil spécifique de radionucléide est dépassé lors de mesures de tri), visant à quantifier l'activité incorporée et donc la dose efficace engagée.