

## CHANGEMENT DE LA CIBLE DE SPALLATION DE L'INSTALLATION n\_TOF DU CERN

**Fabio POZZI, Jean-François GRUBER, Oliver ABERLE, Luca Rosario BUONOCORE, Marco CALVIANI, Francesco DRAGONI, Jean-Louis GRENARD, Heinz VINCKE**

CERN

Esplanade des Particules 1, 1211 Genève 23, Suisse  
fabio.pozzi@cern.ch

### INTRODUCTION

L'installation n\_TOF au CERN (*neutron Time-Of-Flight*), construite en 2000, produit une source des neutrons pulsés allant de quelques meV à plusieurs GeV. Pour produire des neutrons, un faisceau pulsé de protons à 20 GeV/c du Synchrotron à protons (PS) est dirigé sur une cible en plomb installée dans un puit non accessible pendant l'opération avec faisceau. Les neutrons, à l'origine rapides, sont ralentis, tout d'abord par la cible, puis par une plaque contenant de l'eau ; ensuite les neutrons sont guidés à travers un tube de faisceau évidé d'environ 185 m de longueur qui termine dans une zone expérimentale nommée EAR1 (*Experimental ARea 1*), et, depuis 2014, aussi à travers une ligne verticale d'environ 20 m de longueur jusqu'à la zone expérimentale EAR2 (*Experimental ARea 2*) (voir Figure 1). Les expériences menées à n\_TOF trouvent leur application, parmi d'autres, dans les domaines de la physique nucléaire de base, de l'astrophysique et de l'incinération des déchets nucléaires radioactifs.

En 2018, la cible de deuxième génération (en opération depuis 2008) avait atteint la fin de sa durée de vie, estimée à environ 10 ans ; en profitant du grand arrêt du complexe des accélérateurs du CERN (*Long Shutdown 2, 2019-2021*), la cible a été retirée de sa position opérationnelle et une partie de l'installation n\_TOF démantelée pour permettre l'installation de la cible de troisième génération (qui sera opérationnelle à partir du deuxième semestre 2021). La communication orale détaillera l'opération de changement de cible en soulignant les enjeux de radioprotection et les mesures qu'ont permis de mener à bien ce chantier. Une partie sera consacrée au retour d'expérience et la conclusion montrera les aspects de radioprotection de la cible de troisième génération dont la mise en service est prévue pour l'été 2021.

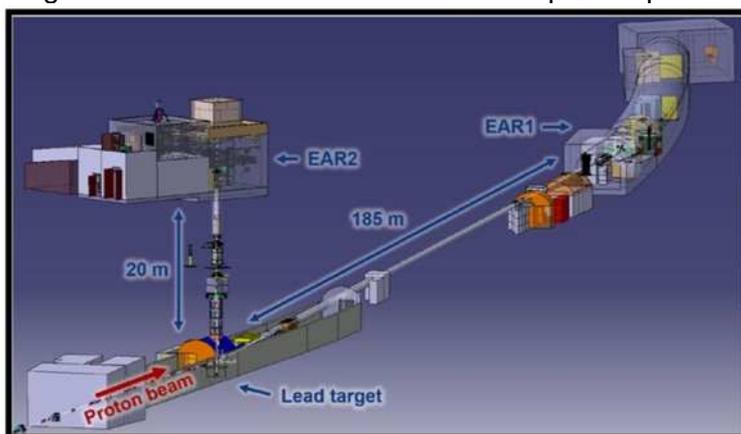


Figure 1. L'installation n\_TOF au CERN.

### CIBLE 2 ET RADIOPROTECTION

La cible de deuxième génération est composée d'un bloc monolithique de plomb (60 cm en diamètre et 40 cm de longueur) de très haute pureté (> 99.99%) refroidi à l'eau déminéralisée.

Le circuit de refroidissement et le circuit de modération étaient séparés pour éviter la cross-contamination entre les deux circuits ; en effet, l'eau du circuit de refroidissement était en contact direct avec le plomb et, à cause des effets de corrosion, érosion et diffusion, des produits de spallation du plomb (notamment  $^{194}\text{Hg}$ ,  $^{172}\text{Hf}$  et aussi des émetteurs alpha comme le  $^{148}\text{Gd}$  et les  $^{208,209,210}\text{Po}$ ) étaient présents dans le circuit.

La station de refroidissement est installée dans un local dédié non accessible pendant l'opération avec faisceau à cause des niveaux très élevés de radiations (plusieurs mSv/h) ; le local accueillait des filtres mécaniques, un système de dégazage et des cartouches nucléaires nécessaires à réduire les niveaux de contamination du circuit.

L'installation n\_TOF présente plusieurs enjeux de radioprotection : risque d'exposition externe (radiation résiduelle et prompte), rejets atmosphériques suite à l'activation de l'air de la zone cible, risque de contamination et d'incorporation lors des opérations de maintenance dans la station de refroidissement (par exemple, changement des cartouches).

### LE CONCEPT ALARA AU CERN

Au CERN, chaque intervention impliquant un risque radiologique est soumise à une évaluation qui comprenne une estimation de l'exposition externe et, si applicable, de l'exposition interne selon le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). Les interventions sont divisées en trois niveaux en fonction de la dose individuelle maximale et de la dose collective estimées :

1. ALARA niveau 1 : dose individuelle maximale inférieure à 100  $\mu\text{Sv}$  et dose collective inférieure à 500 H. $\mu\text{Sv}$  ;
2. ALARA niveau 2 : dose individuelle maximale inférieure à 1 mSv et dose collective inférieure à 5 H.mSv ;
3. ALARA niveau 3 : dose individuelle maximale supérieure à 1 mSv ou dose collective supérieure à 5 H.mSv.

En fonction du niveau ALARA assigné, l'intervention suivra un processus d'optimisation et approbation différent.

A cause des valeurs de dose individuelle et collective, le retrait de la cible a été classé comme une intervention ALARA niveau 3 qui a impliqué :

- la rédaction d'un plan d'intervention en milieu radiologique accompagné d'une estimative des doses étape par étape (WDP, *Work and Dose Planning*) ;
- la rédaction d'un document détaillant les mesures d'optimisation ;
- et l'approbation par le comité ALARA présidé par le Directeur des Accélérateurs du CERN et dont fait partie aussi le chef du Groupe de Radioprotection.

### CHANGEMENT DE LA CIBLE

L'intervention comprenait trois opérations principales: démantèlement de la station de refroidissement, retrait de la cible et son transport vers un lieu de stockage temporaire (sur le site du CERN), et démantèlement du mur de blindage de la cible.

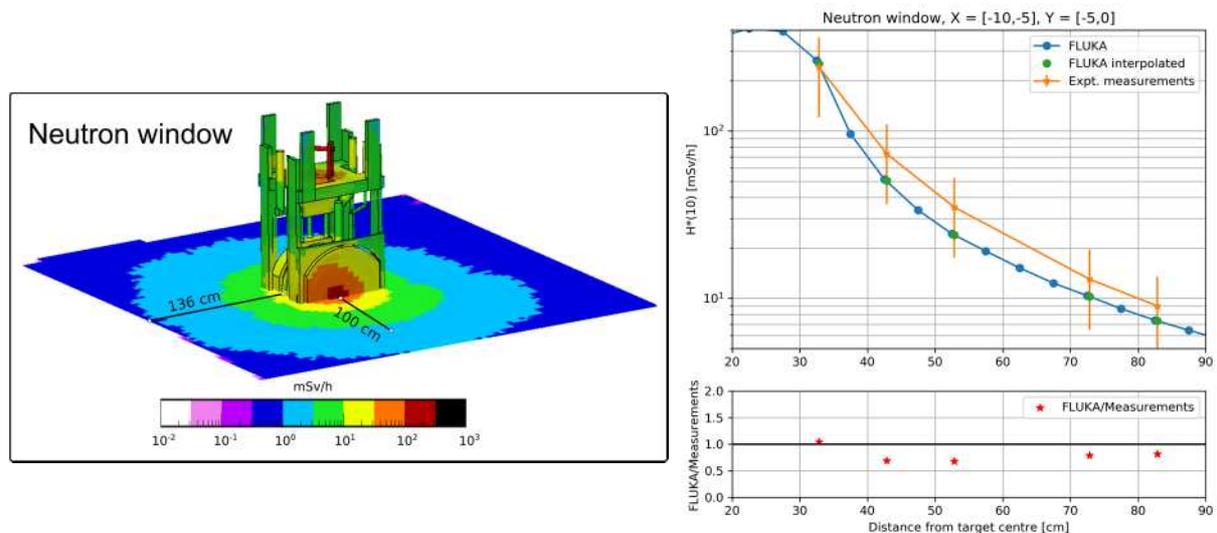
Le démantèlement de la station avait comme principal enjeu le risque d'exposition externe et interne à cause de la présence dans la tuyauterie du circuit de produits de spallation du plomb. Avant de démarrer les opérations, plusieurs mesures de spectrométrie gamma ont été effectuées pour la caractérisation radiologique de l'eau et une procédure détaillée a été rédigée. Le personnel intervenant a été équipé avec des protections respiratoires filtrantes et un système de prélèvement passif de l'air a été mis en place pour vérifier l'absence de contamination atmosphérique. Les éléments les plus radioactifs ont été retirés en premier pour réduire le débit de dose ambiante dans la station. Lors du démantèlement, au moins un officier de radioprotection était toujours présent.

Le retrait de la cible a été une opération complexe : elle a demandé de manutentionner un objet fortement radioactif (centaines de mSv/h au contact), d'un poids de quelques tonnes et

de le préparer pour son stockage comme déchet radioactif (vidange de l'eau contaminée et conditionnement dans un conteneur blindé). Pendant les années 2017 et 2018 plusieurs réunions préparatoires ont été effectuées à la présence des différentes parties prenantes pour étudier et définir la procédure de retrait étape par étape. Des essais à blanc ont été effectués pour tester les étapes les plus critiques de la procédure, notamment la vidange de la cible avec robot et la manutention de la cible avec un monorail et un pont roulant. Pour sortir la cible de son puit il a fallu couper la partie supérieure de la tuyauterie du circuit de refroidissement. A cause de débit de dose très élevés à proximité de la tuyauterie (une dizaine de mSv/h), la découpe a été réalisée par des robots contrôlés à distance. Les robots ont été aussi utilisés pour la vidange de l'eau de refroidissement qui restait dans la cible. Enfin, équipés d'une sonde de mesure de radiation, les robots ont mesuré le débit de dose de la cible et ont aussi effectué des frottis pour la mesure des niveaux de contamination surfacique. Toutes ces opérations se sont très bien déroulées et ont permis une optimisation importante de la dose.

Une fois ces opérations terminées, la cible a été insérée dans un premier conteneur blindé en inox (2 cm d'épaisseur) conçu à l'aide de simulations Monte Carlo et ensuite dans un conteneur en béton (12 cm d'épaisseur), qui, dans le futur, sera utilisé pour le transport vers le centre de stockage à longue durée des déchets radioactifs en Suisse. L'ensemble (cible plus conteneurs) a été transporté pour stockage temporaire dans une zone dédiée sur le site du CERN.

Le démantèlement du mur de blindage avait comme principal risque radiologique l'exposition externe à cause de niveaux très élevés de débit de dose ambiant dans la zone cible (plusieurs mSv/h) et de l'activation des blocs en béton. L'intervention a été optimisée grâce à l'utilisation d'outils de manutention permettant de garder une bonne distance entre l'opérateur et les blocs. De plus, la bonne préparation de l'intervention a permis aussi de réduire le temps nécessaire. Le bilan dosimétrique de l'opération de changement de la cible étaient cohérent avec les estimations ; cela confirme aussi l'importance des outils Monte Carlo pour l'estimation du débit de dose résiduel pour les équipements qui ne sont pas facilement accessibles (Figure 2).



**Figure 2. A gauche, débit de dose résiduel de la cible n\_TOF simulé avec le code Monte Carlo FLUKA; à droite, comparaison entre la prédiction FLUKA et les mesures effectuées avec le robot.**

n\_TOF EN 2021 ET APRÉS

Pendant les trois dernières années, une nouvelle cible en plomb refroidie à l'azote gazeux a été étudiée, optimisée et fabriquée. Le changement du système de refroidissement permettra de réduire les risques liés à l'eau contaminée mais demandera un suivi très proche de l'installation pour vérifier et garantir son fonctionnement correct. La nouvelle cible sera installée au printemps 2021 ; la phase de mise en service avec faisceau de protons débutera à la mi-Juillet. Une autre modification très importante est le changement du mur de blindage latéral de la cible. Celui-ci a été remplacé par un mur mobile d'épaisseur inférieure ; l'étude d'optimisation effectuée avec la méthode Monte Carlo (Figure 3) sera validée lors du redémarrage des opérations.

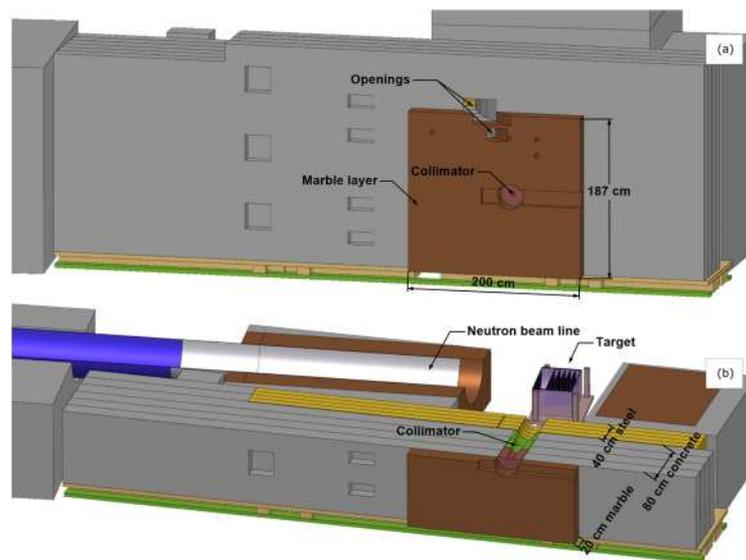


Figure 3. Géométrie 3D du modèle FLUKA du blindage mobile de la cible n\_TOF.