

# ETUDE DE BLINDAGE AVEC LE CODE FLUKA POUR LA CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE ZONE EXPERIMENTALE POUR L'INSTALLATION N\_TOF AU CERN

Joachim VOLLAIRE

CERN  
CH-1211 Genève 23, Suisse  
Joachim.vollaire@cern.ch

L'installation de mesure du temps de vol des neutrons n\_TOF [1] au CERN permet l'étude des interactions noyau – neutron et notamment la mesure de sections efficaces. Pour produire les neutrons, un faisceau pulsé de protons délivré par le Synchrotron à Proton (PS) à une énergie de 20 GeV/c est dirigé sur une cible de spallation en plomb. L'interaction du faisceau de protons sur la cible conduit à la production de neutrons qui sont dans un premier temps ralentis puis canalisés au moyen d'un système de collimation et d'une ligne de faisceau horizontale vers une zone expérimentale située à 185 m en aval de la cible de spallation.

En profitant de l'arrêt de toute la chaîne d'accélérateur au CERN à partir du printemps 2013 pour la première grande phase de consolidation du LHC, la construction d'une nouvelle ligne de faisceau verticale pour les neutrons et d'une zone expérimentale associée a débuté en 2013. Cette nouvelle installation permettra l'exploitation en parallèle des deux zones expérimentales et la réalisation de mesures plus variées en considérant la différence de spectre des neutrons émis dans la direction du faisceau et à 90 degrés. De plus, la nouvelle zone expérimentale étant plus proche de la cible (à environ 20 m), le flux de neutrons sera plus intense et permettra d'effectuer des expériences avec des quantités de matière plus réduites ce qui pour les mesures d'échantillons radioactifs représente un avantage significatif. La configuration géométrique de l'installation avec la ligne de faisceau verticale est montrée sur la Figure 1.

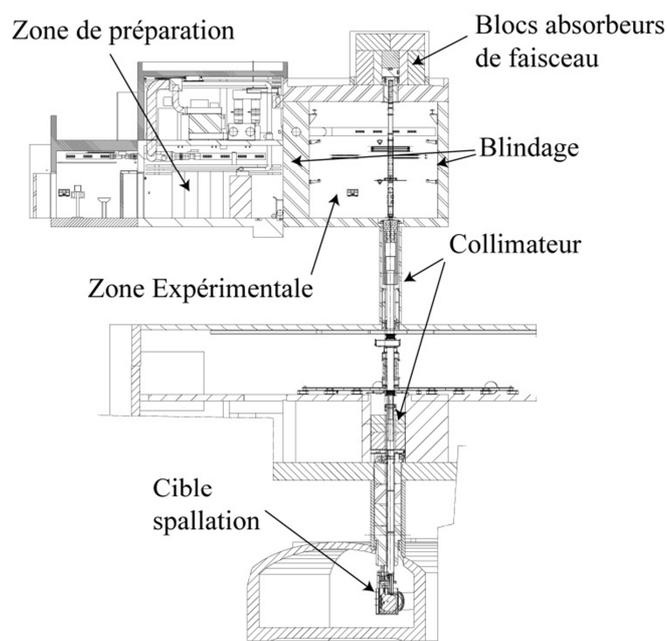
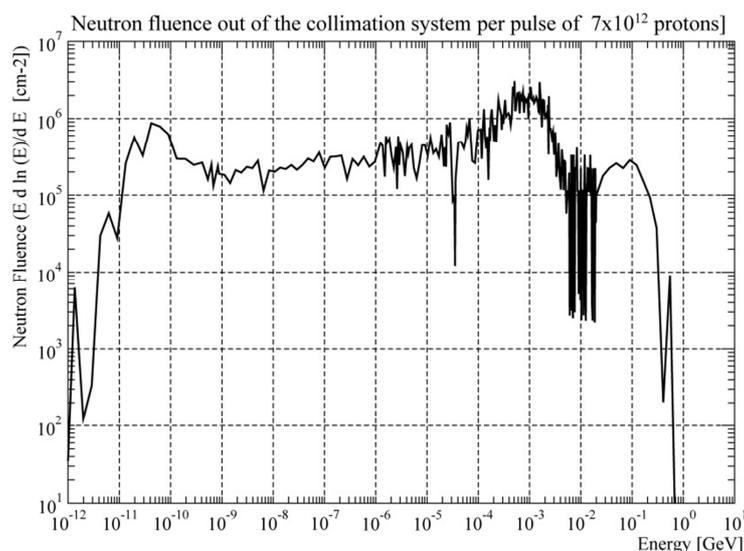


Figure 1 - Vue de la cible de spallation et de la ligne de faisceau verticale vers la nouvelle zone expérimentale

Du point de vue de la radioprotection, le dimensionnement du blindage de la nouvelle zone expérimentale a fait l'objet d'une attention particulière. Le système de contrôle d'accès et de protection des personnes assurent que durant l'exploitation avec faisceau, la zone expérimentale où sont placés les échantillons dans le faisceau de neutrons n'est pas occupé et que la porte blindée permettant l'accès à la zone est dans sa position fermée. Par contre, la salle adjacente dédiée à la préparation des échantillons est éventuellement occupée durant l'opération et cette contrainte est prise en compte dans le dimensionnement du blindage. L'autre point considéré dans l'analyse est la taille et le choix des matériaux utilisés pour le système installé au bout de la ligne de faisceau. L'objectif dans ce cas est d'assurer que la majorité des neutrons est capturée afin de garantir que l'exposition par effet de ciel « skyshine » des personnes occupant les bâtiments alentours soit inférieure à la limite applicable au CERN. Une contrainte additionnelle considérée dans l'étude du système terminant la ligne de faisceau est la nécessité de minimiser la fraction de neutrons rétrodiffusés par le blindage qui est une source de bruit de fond au niveau des détecteurs utilisés pour la physique.

La première étape de l'analyse a consisté à implémenter dans le code Monte-Carlo FLUKA [2][3] un modèle détaillé de la zone incluant les éléments de structure, la cible de spallation ainsi que la ligne de faisceau verticale avec les collimateurs. La modélisation FLUKA a permis de déterminer la distribution énergétique ainsi que l'intensité du flux de neutrons à la sortie du système de collimation entre la cible de spallation et la nouvelle zone expérimentale comme indiqué sur la Figure 1.

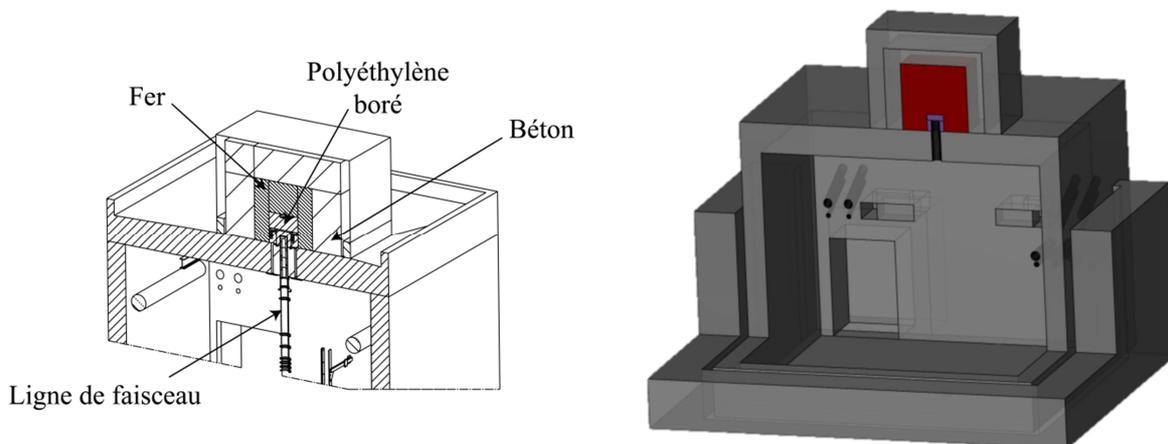


**Figure 2 - Spectre en énergie des neutrons émergents du système de collimation entre la cible de spallation et la zone expérimentale**

La possibilité offerte par le code FLUKA d'implémenter une routine utilisateur pour la génération particules primaires transportées par le code a permis d'utiliser le spectre et l'intensité comme terme source pour les différentes configurations étudiées. Une étude des différentes configurations en simulant systématiquement le transport des protons dans la cible, la production des neutrons et leur transport au travers du système de collimation aurait été très pénalisante en termes de temps de calcul. La logique implémentée dans la routine pour déterminer l'énergie des particules primaires, a été d'échantillonner chaque canal du spectre avec la même probabilité et de pondérer l'importance statistique relativement au contenu du canal. Cette approche permet de reproduire de manière très fiable la structure du spectre notamment pour les neutrons de haute-énergie qui sont souvent prédominants pour le dimensionnement des blindages. L'intensité du flux de neutrons est déterminée à partir de la surface d'ouverture du dernier collimateur situé juste avant la zone expérimentale. Pour la première phase d'exploitation de la zone, il est prévu d'utiliser un collimateur de 4 cm de

diamètre et éventuellement dans une seconde phase un collimateur de 10 cm de diamètre afin d'obtenir un flux de neutrons plus important pour d'autres types d'expériences. Afin d'optimiser les coûts liés à la construction de la zone, il a été décidé de dimensionner le système pour absorber les neutrons, le plafond et le mur commun avec la salle de préparation en prenant en compte l'intensité maximum correspondant au collimateur de 10 cm. Les murs extérieurs de l'enceinte par contre sont uniquement compatibles avec le collimateur de 4 cm et il est prévu d'ajouter une épaisseur de blocs de blindage supplémentaire si la zone expérimentale est exploitée avec le collimateur de 10 cm dans le futur.

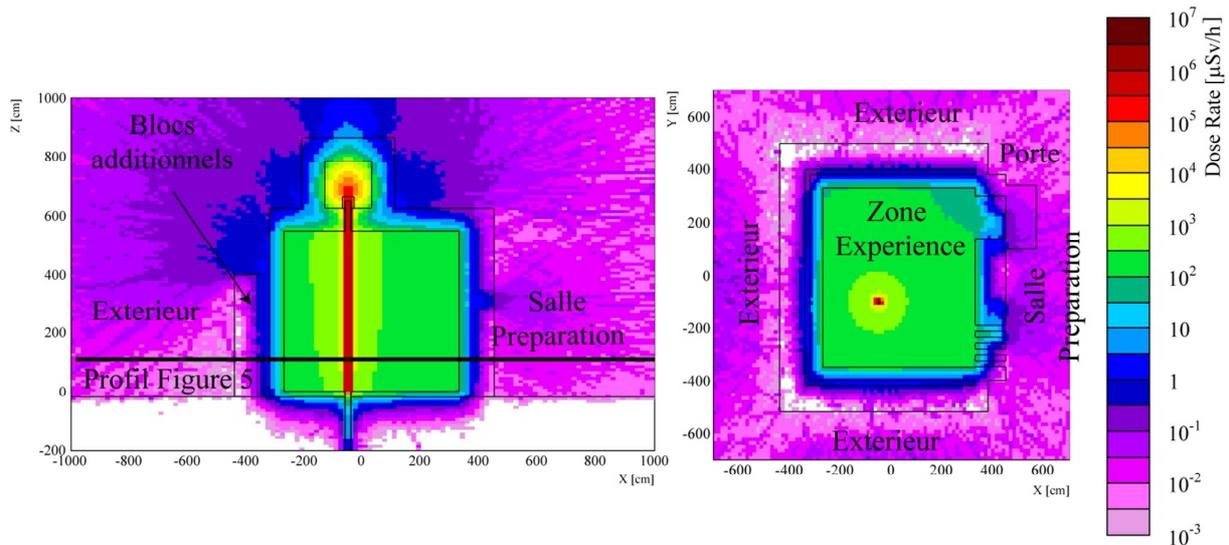
Pour l'absorbeur sur le toit, plusieurs combinaisons de matériaux ont été considérées et la solution retenue est une combinaison de fer et de béton comme indiqué sur la Figure 3 sur le schéma de gauche. Ce blindage est complété de polyéthylène boré afin de minimiser le flux de neutrons rétrodiffusés qui est une source de bruit de fond pour les expériences de physique. La Figure 3 (schéma à droite) permet de voir grâce à l'interface SimpleGeo [4], le niveau de détail intégré dans la modélisation de la géométrie FLUKA.



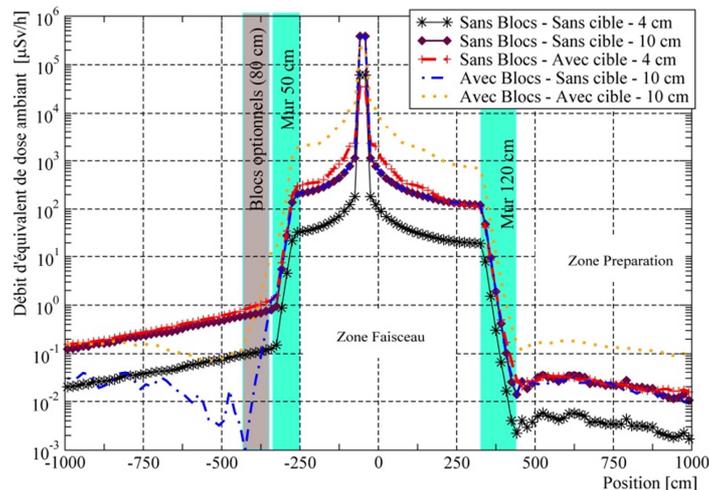
**Figure 3 - Matériaux utilisés pour absorber le faisceau (gauche) et géométrie de la zone expérimentale implémentée dans FLUKA (droite)**

Les configurations correspondant aux deux collimateurs ont été considérées pour la spécification du blindage. Les échantillons utilisés à n\_TOF pour les mesures de sections efficaces sont très minces et par conséquent la quasi-totalité du faisceau de neutrons termine son parcours dans les blocs sur le toit de la zone expérimentale. En cas d'installation du collimateur de 10 cm, il est envisagé d'effectuer des irradiations d'échantillons plus épais. Par conséquent, ce scénario a été modélisé dans les simulations en ajoutant une cible de cuivre de 2 cm d'épaisseur dans la trajectoire du faisceau de neutrons pour assurer que les neutrons diffusés sont correctement absorbés dans le blindage.

La Figure 4 montre sur une coupe verticale (à gauche) et horizontale (à droite) les débits d'équivalent de dose ambiant avec un collimateur de 10 cm. Pour toutes les zones accessibles, le débit d'équivalent de dose est inférieur à la limite de  $0.5 \mu\text{Sv/h}$  appliquée au CERN pour les zones non classées. La Figure 5 montre sur le profil indiqué sur la Figure 4 (à gauche) les débits de dose pour les différentes combinaisons de blindage / collimateurs avec l'effet d'une cible diffusant les neutrons.



**Figure 4 - Débit d'équivalent de dose ambiant pour un collimateur de 10 cm avec les blocs additionnels de blindage en place (et sans cible)**



**Figure 5 - Débit d'équivalent de dose ambiant pour les différentes combinaisons collimateur/blindage/cible**

En plus de l'étude de blindage, FLUKA a été utilisé pour évaluer les risques associés à l'activation de l'air dans la zone, aux débits de dose résiduelle suite à l'activation des matériaux ainsi pour assurer que l'exposition des bâtiments adjacents par effet de ciel (« skyshine ») est inférieure à la limite applicable.

[1] <https://ntof-exp.web.cern.ch/ntof-exp/index.php?page=main>

[2] G. Battistoni, S. Muraro, P.R. Sala, F. Cerutti, A. Ferrari, S. Roesler, A. Fasso`, J. Ranft "The FLUKA code: Description and benchmarking", Proceedings of the Hadronic Shower Simulation Workshop 2006, Fermilab 6--8 September 2006, M.Albrow, R. Raja eds., AIP Conference Proceeding 896, 31-49, (2007).

[3] A. Ferrari, P.R. Sala, A. Fasso`, and J. Ranft "FLUKA: a multi-particle transport code", CERN-2005-10 (2005), INFN/TC\_05/11, SLAC-R-773.

[4] Theis C., Buchegger K.H., Brugger M., Forkel-Wirth D., Roesler S., Vincke H., "Interactive three dimensional visualization and creation of geometries for Monte Carlo calculations", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 562, pp. 827-829 (2006).