

Changement de la cible de spallation de l'installation n_TOF du CERN

13ème Congrès National de Radioprotection – Du 14 au 18 juin 2021



Fabio POZZI, Jean-François GRUBER, Oliver ABERLE, Luca Rosario BUONOCORE, Marco CALVIANI, Francesco DRAGONI, Jean-Louis GRENARD, Keith KERSHAW, Jose Maria MARTIN RUIZ, Heinz VINCKE

CERN, Esplanade des Particules 1, 121 Genève (Suisse)



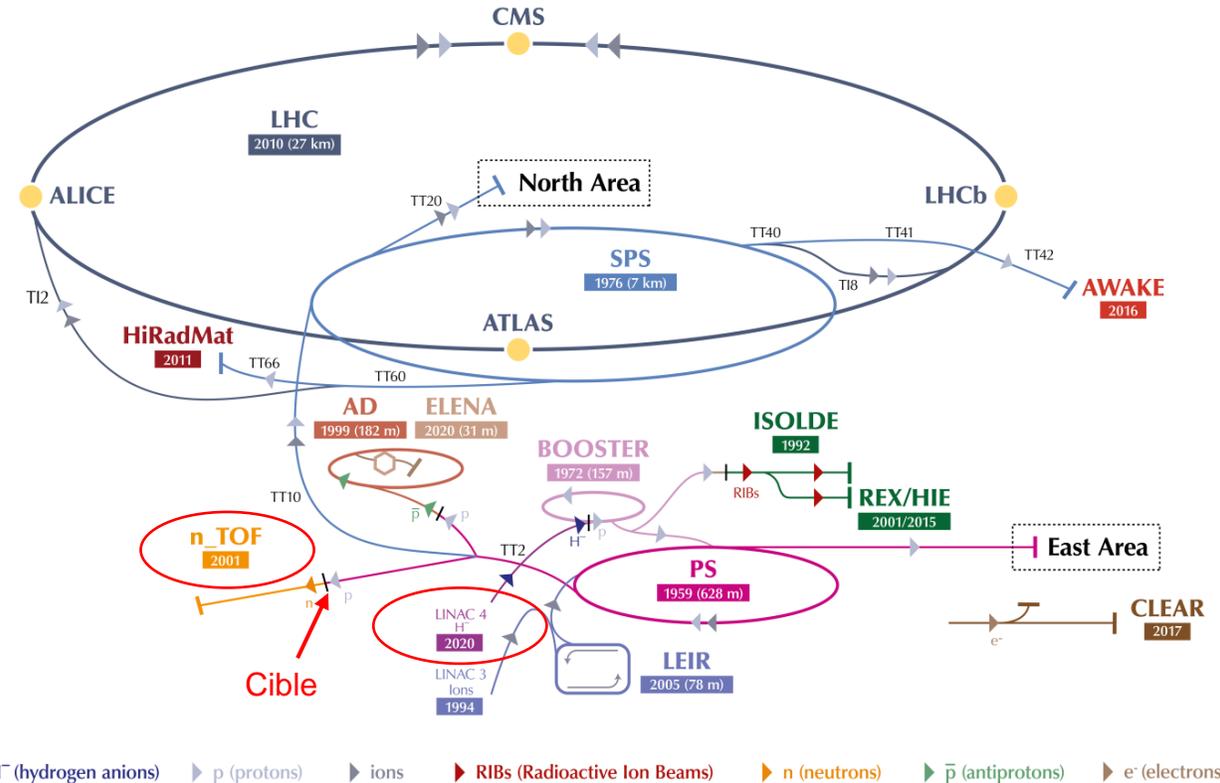
Sommaire

- Introduction
 - n_TOF au CERN et sa cible de spallation
- Changement de la cible
 - Retrait cible, démantèlement de la station de refroidissement et du mur de blindage
 - Phase préparatoires
 - Description des trois activités du chantier
- n_TOF en 2021 et après
- Conclusions

n_TOF au CERN

- **n_TOF = neutron Time-Of-Flight**
 - **Collaboration** : plusieurs instituts et centres de recherche
 - **Installation**: construite en 2000 et premier faisceau en 2001
- **Faisceau pulsé de protons à 20 GeV/c du Synchrotron à protons (PS) sur cible en plomb**
 - Cible de 1^{ère} génération: 2001-2004
 - Cible de 2^{ème} génération: 2008-2018
 - Cible de 3^{ème} génération: dès 2021
- Source de **neutrons de spallation pulsés (meV-GeV)** pour application en:
 - Physique nucléaire de base
 - Astrophysique
 - Incinération déchets nucléaires

The CERN accelerator complex
Complexe des accélérateurs du CERN



LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive EXperiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LInear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials

L'installation n_TOF

➤ Zone cible

- Puit blindé contenant la cible de spallation en plomb
- Inaccessible pendant l'opération (système d'accès + veto RP)
- Dépression de -20 Pa (confinement dynamique)
- Départ des lignes de faisceau verticale et horizontale

➤ EAR1 (Experimental Area 1)

- Zone expérimentale ~180 m à l'horizontale

➤ EAR2 (Experimental Area 2)

- Zone expérimentale ~20 m à la verticale

Secteurs de travail
selon ORaP*
→ manipulation de sources
non-scellées

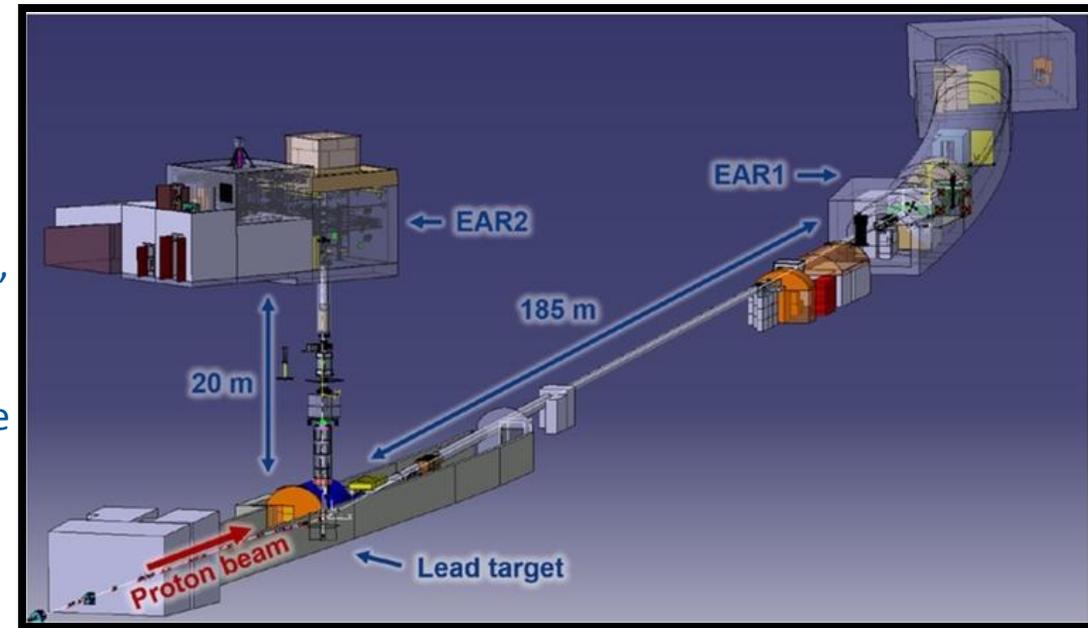
➤ ISR8

- Station de refroidissement (filtres mécaniques, système de dégazage, cartouche nucléaires, etc.) → inaccessible pendant l'opération

➤ Principaux enjeux de radioprotection

- **Exposition externe** (radiation prompt – principalement neutronique – et radiation résiduelle/activation)
- **Rejets atmosphériques** (activation de l'air de la zone cible)
- **Risque de contamination et d'incorporation** lors des opérations de maintenance dans la station de refroidissement (changement cartouches)

Paramètre	Valeur
Faisceau	Protons
Momentum	20 GeV/c
Nombre de protons par impulsion	7e12
Intensité moyenne	1.66e12 p/s
Flux neutronique EAR1	~1e6 neutrons par impulsion (25 meV – 1 GeV)
Flux neutronique EAR2	~1e8 neutrons par impulsion (2 meV – 100 MeV)

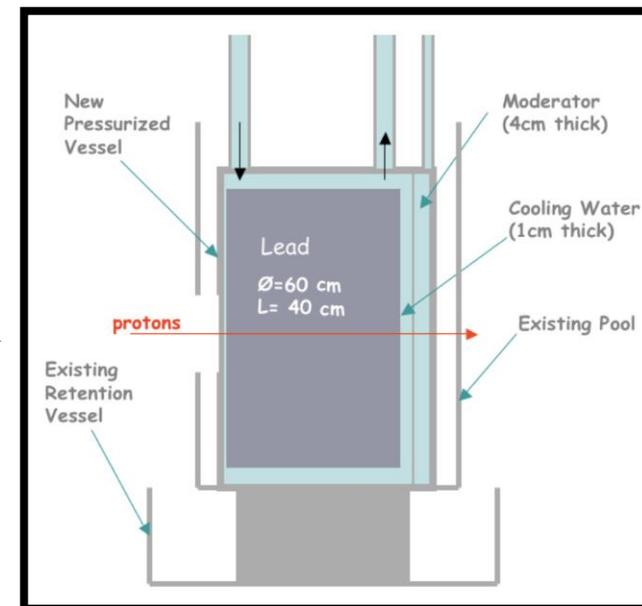


*Par exemple: ^{194}Hg , ^{172}Hf , ^{148}Gd , $^{208,209,210}\text{Po}$

**LS2 = Long Shutdown 2

Cible n_TOF

- Cible de **deuxième génération** installée en 2008
 - Bloc monolithique de **plomb** (d = 60 cm, l = 40 cm)
refroidi à l'eau déminéralisée
 - Contact directe entre plomb et eau → présence des **produits de spallation*** du plomb dans le circuit de refroidissement
 - *Vessel* en aluminium
 - **Modérateur** à l'eau borée (ligne horizontale) + circuit dédié
 - **Durée** de vie estimée à **~10 ans**
 - Opération entre **2008** et **2018**: **1.5×10^{20} protons** reçus
- **Activité de remplacement**
 - Fenêtre temporelle donnée par le **LS2*** (**2019-2021**): **arrêt** du complexe des **accélérateurs**
 - **Retrait** de la **cible** en **novembre 2019**
 - Installation de la nouvelle cible (**troisième génération**, refroidie à l'azote) en 2021



Changement de la cible

- Activité composée de **3 interventions**
 - **Démantèlement station de refroidissement**
 - **Retrait, conditionnement et stockage temporaire cible** } Exposition externe + Risque de contamination
 - **Démantèlement blindage latéral cible** → Exposition externe
- Intervention **ALARA* niveau III** au CERN

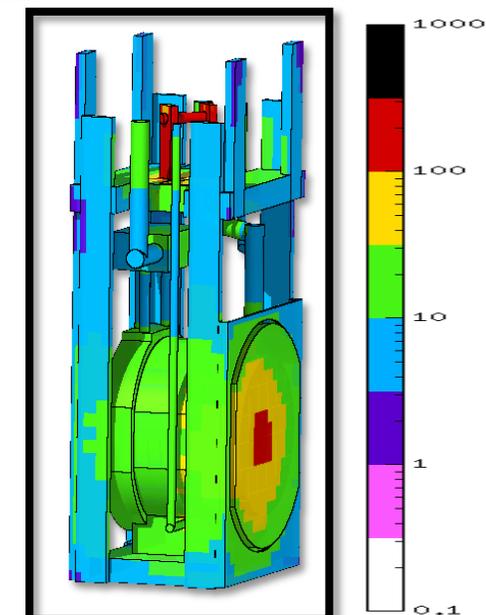
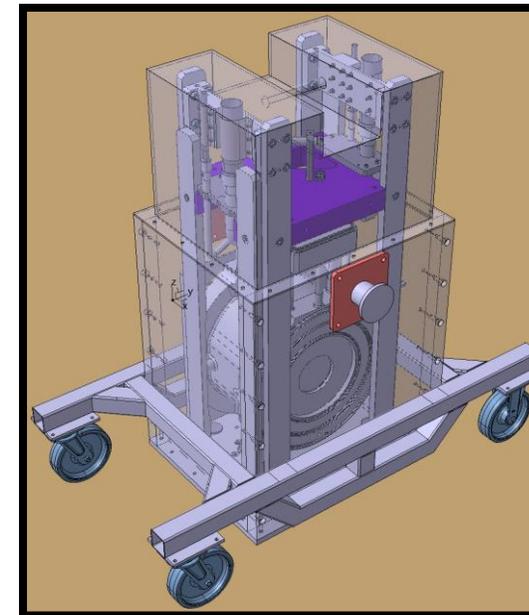
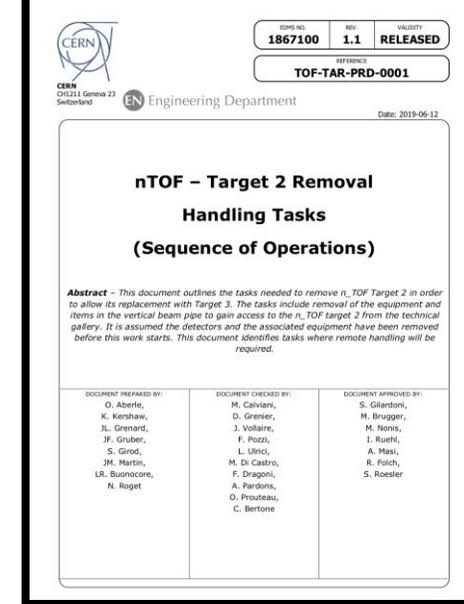
	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Dose individuelle max.	< 100 μ Sv	100 μ Sv – 1 mSv	> 1 mSv
Dose collective	< 500 H. μ Sv	500 H. μ Sv – 5 H.mSv	> 5 H.mSv

← Changement cible n_TOF

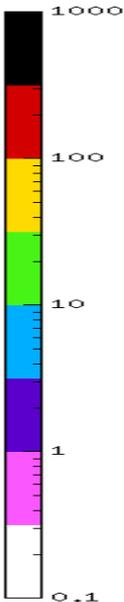
- Rédaction **plan intervention** en milieu radiologique + **estimatifs des doses étape par étape** (WDP, Work and Dose Planning)
- Document détaillant les **mesures d'optimisation**
- **Approbation** par **comité ALARA** présidé par le Directeurs des Accélérateurs du CERN (Chef Groupe de Radioprotection aussi présent)

Phase préparatoire

- Rédaction de la **procédure de retrait**
 - **Réunions préparatoires** parmi les différentes **parties prenantes** (transport, radioprotection, CV, robot, coordination technique)
 - **Essais à blanc** (maquettes, optimisation, entraînement, tests)
- **Zones accessibles : survey RP** pour la **préparation du WDP**
 - Zone cible
 - Station refroidissement
- **Zones inaccessibles : estimation débit de dose résiduel** pour composantes spécifiques à l'aide des **simulations Monte Carlo (FLUKA)**
 - Cible(!)
 - Blocs de blindage
- **Conception d'un conteneur blindé** pour transport et stockage temporaire de la cible
 - Optimisation exposition externe
 - Réduction risque de fuite d'eau
 - Requis pour transport radioactif (< 2 mSv/h au contact)



mSv/h



Démantèlement station refroidissement

➤ Activités de **démantèlement**

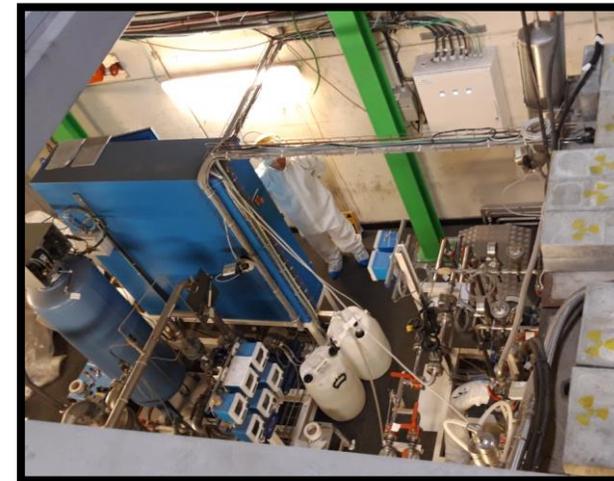
- **Vidange circuit** → maquette et essai à blanc
- Retrait des **cartouches nucléaires** et filtres mécaniques
- Circuit eau glacée (non-radioactif)
- Circuit modérateur (eau activée)
- Circuit refroidissement (eau activée et contaminée)
- Conditionnement des déchets radioactifs

➤ **Mesures d'optimisation**

- Décroissance
- Éléments plus radioactifs retirés en premier
- Procédure dédiée incluant le REX d'opérations précédentes
- Essai à blanc pour les nouvelles opérations

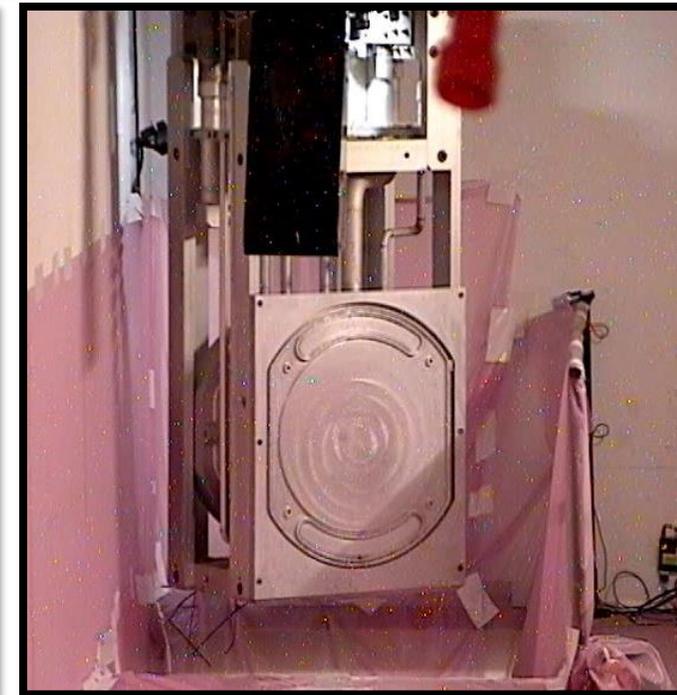
➤ **Supervision RP**

- Spectrométrie gamma et scintillation liquide sur échantillons d'eau → **caractérisation du risque radiologique**
- Protections respiratoires filtrantes + combinaison Tyvek
 - Risque Hg radioactif → filtres à charbon actif
- Système de prélèvement passif de l'air → monitoring
- Constante **présence de la RP** → **très appréciée** par les intervenants



Retrait cible

- Séquence des opérations (prochaines 3 diapos)
- **Cible contaminée** avec débit de dose > 200 mSv/h (au contact)
- Mesures d'**optimisation**
 - **Décroissance et blindage**
 - Plusieurs essais à blanc → **maquette**
 - **Travail à distance** pour les opérations à coté de la cible (**robotique, télémanipulation**)
 - Découpe tuyauterie de la partie supérieure cible
 - Dernière vidange de la cible
 - Opérations de **manutention**
 - **Mesures radiologiques**
- Principaux aspects
 - Plusieurs intervenants en même temps → **coordination**
 - Risques radiologiques → **supervision RP**
 - Planning → **temps**

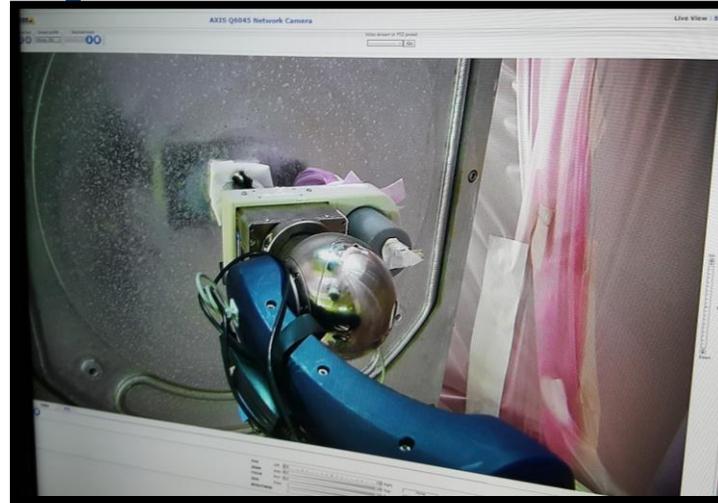


Robotic et radioprotection

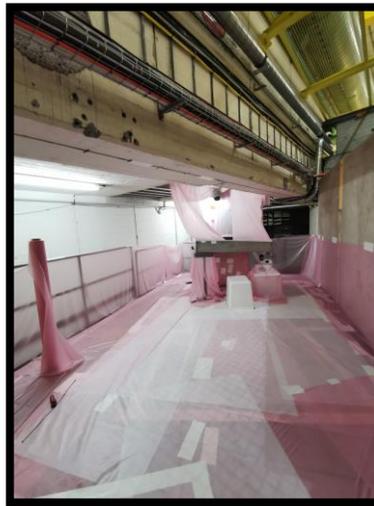
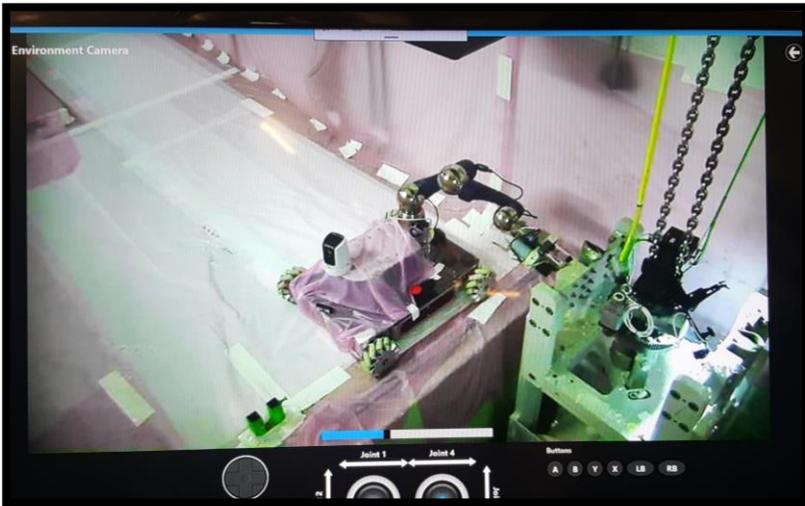
Frottis et mesures de débit de dose à proximité de la cible réalisés avec le robot



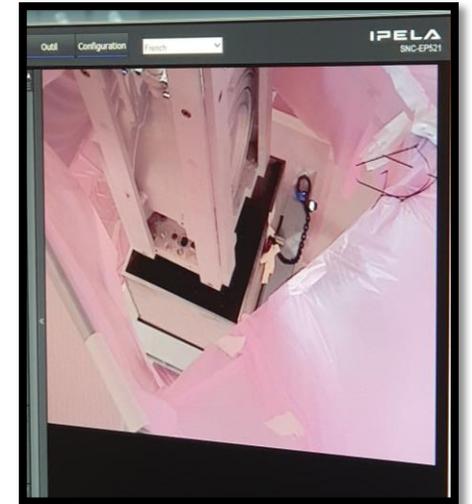
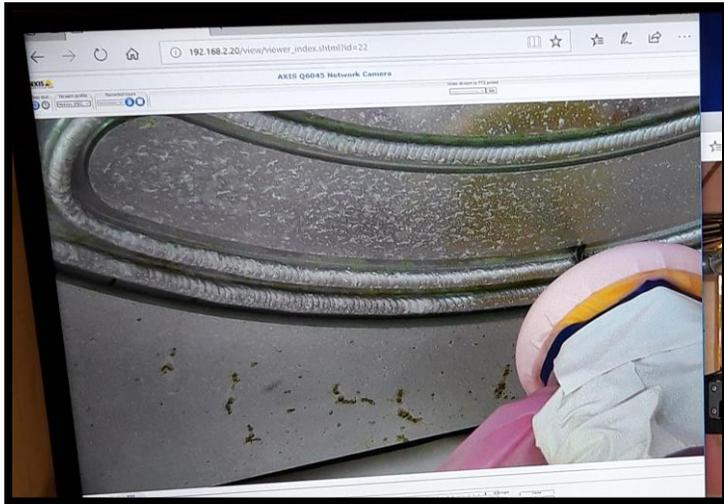
Exposition du personnel aux risques radiologiques négligeable!



Retrait cible 1/3

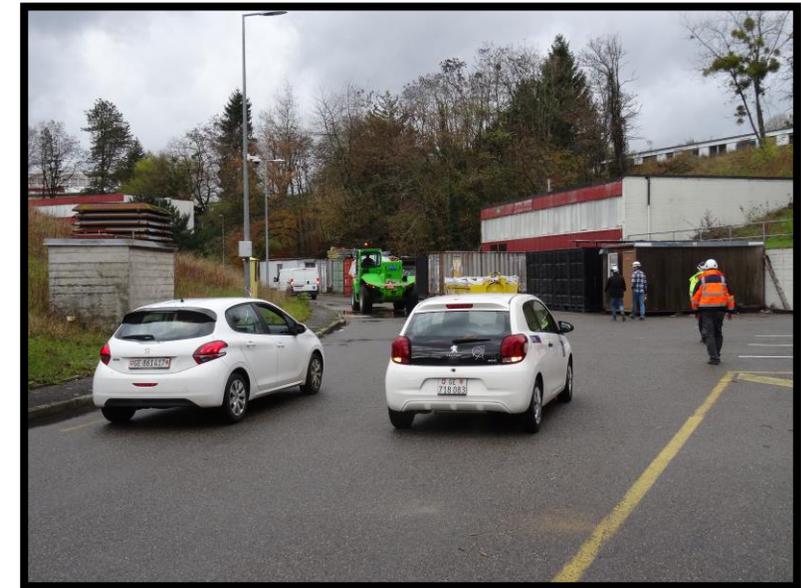
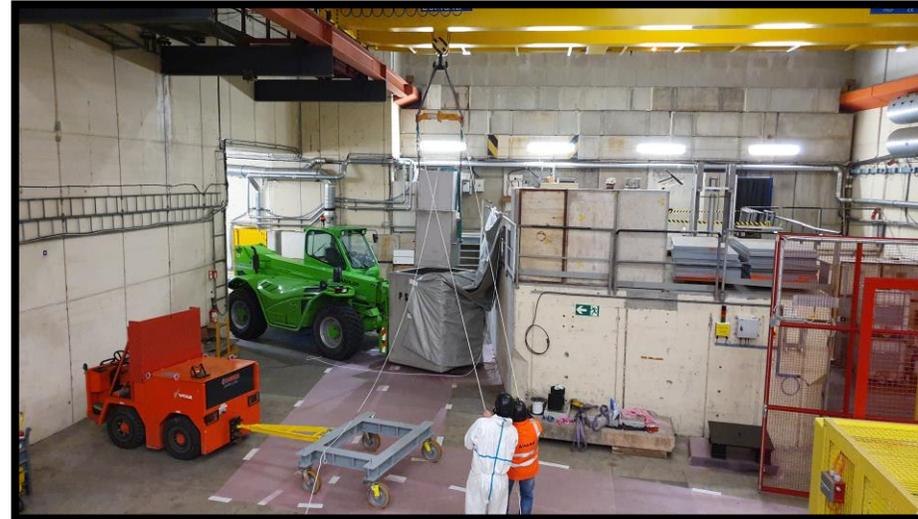
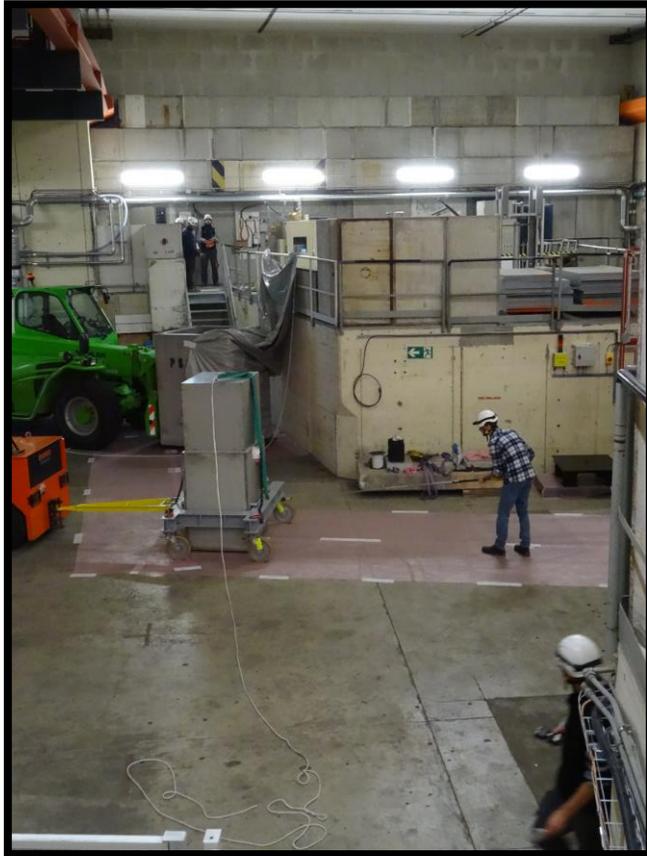


Retrait cible 2/3

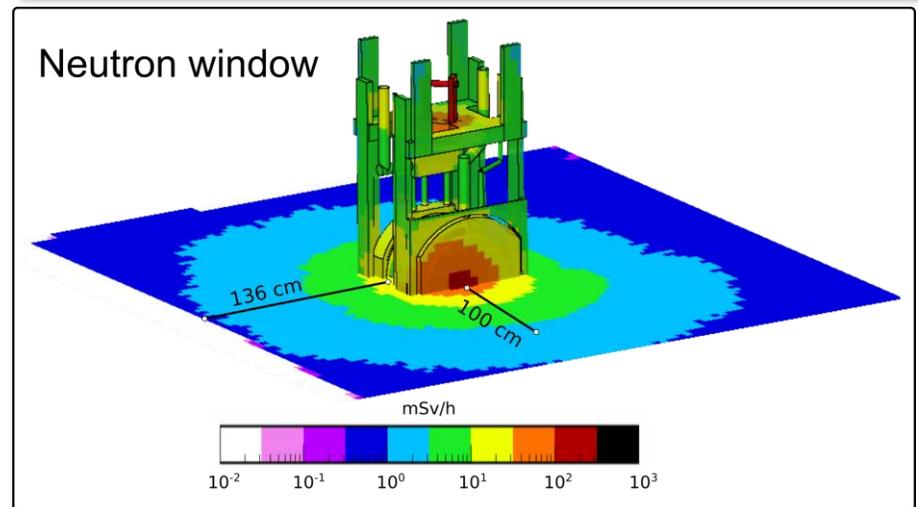
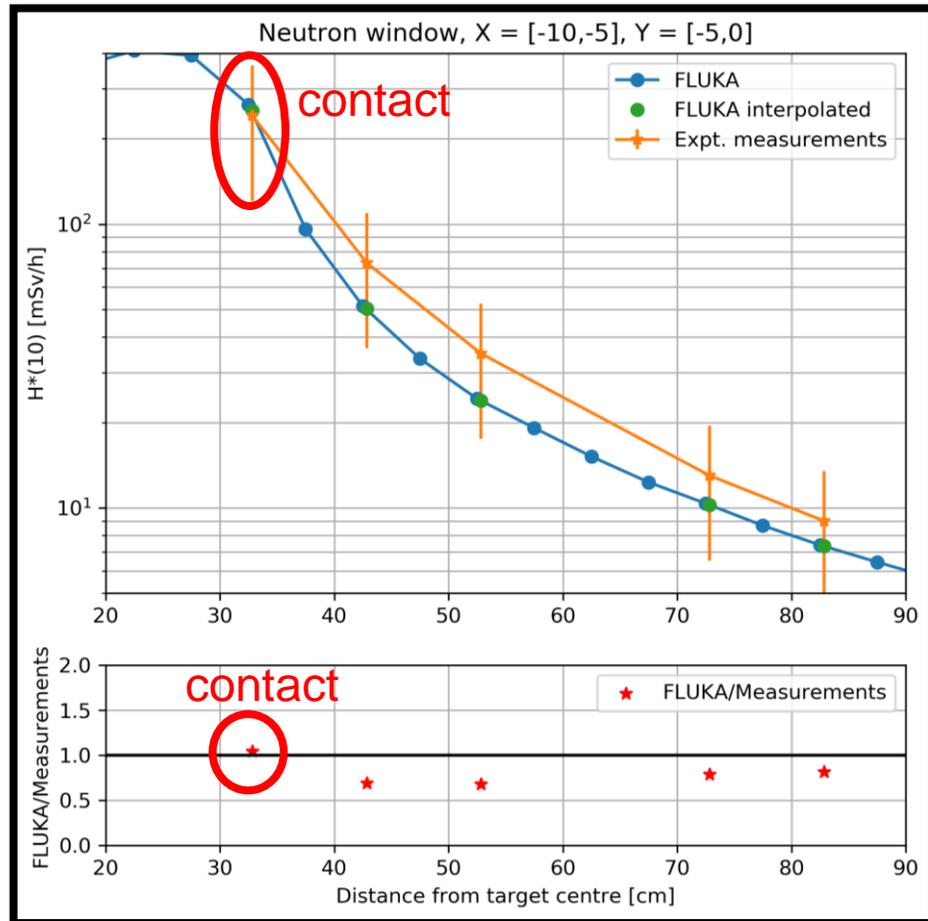


13.5 $\mu\text{Sv/h}$
à ~10 m

Retrait cible 3/3

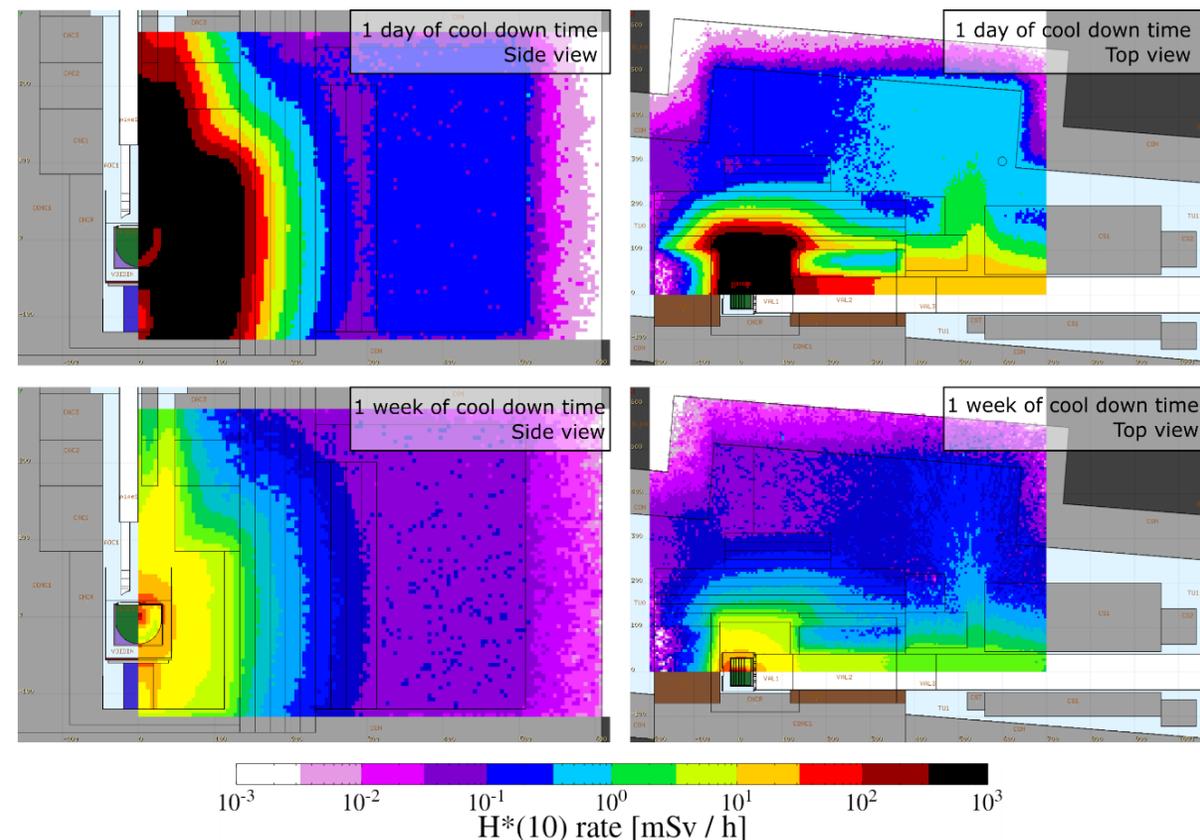
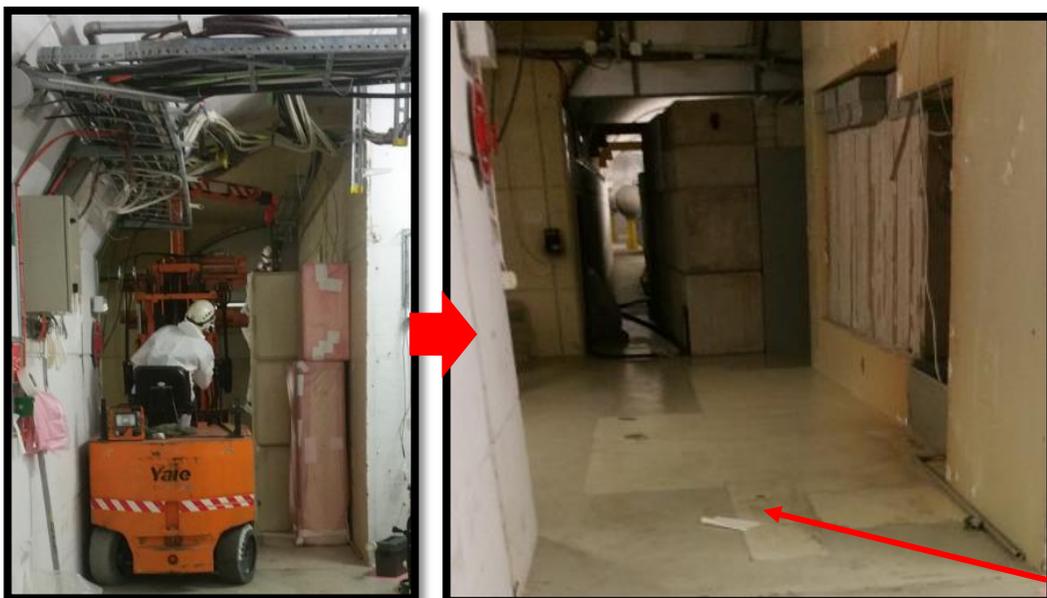


Mesure de dose résiduel et comparaison avec MC



Démantèlement mur de blindage

- **Mesures RP pour la partie extérieur du mur** (10 – 20 $\mu\text{Sv/h}$)
 - Débits de doses simulés par **FLUKA** pour les autres blocs
- **Mesures d'optimisation**
 - ~1 année de **décroissance**
 - Cible retirée à l'avance
 - **Blindage temporaire** mis en place
 - **Protocole de démantèlement**

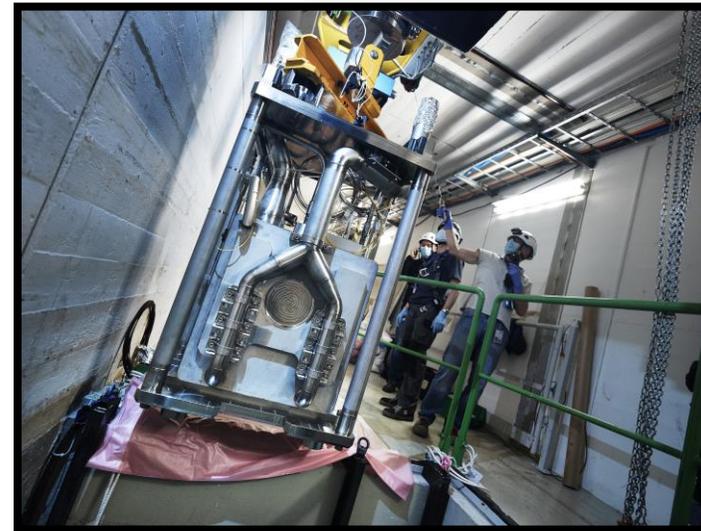
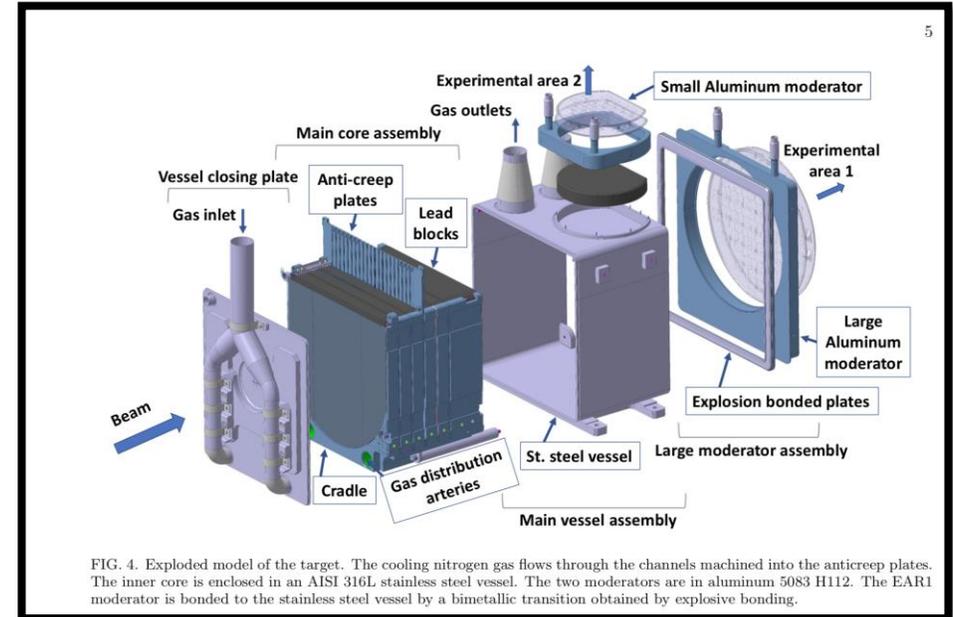


Traces au sol
de l'ancien mur

n_TOF en 2021 et après

- Nouvelle cible (3^{ème} génération)
 - 6 blocs en plomb
 - Vessel en acier inoxydable (vs Alu pour cible 2^{ème} génération)
 - Motivations liée aux aspects d'élimination comme déchet radioactif
 - Conséquences sur le débit de dose résiduel en fin d'opération (Co-60)
- Nouveau système de refroidissement
 - Azote ($N_2 > 99.995\%$) en forme gazeuse
 - Unique au CERN (et peut-être ailleurs?)!
 - Filtration HEPA et charbons actifs
- Nouveau blindage latéral (mobile!)
 - Meilleure flexibilité de l'installation (possibilité de réaliser des irradiations à côté de la cible) avec les mêmes performances en termes de radioprotection

Conception validée à l'aide des simulations Monte Carlo (FLUKA)



Conclusions

Bien qu'il s'agissait d'un chantier très complexe, grâce aux travaux préparatoires et à la compétence des intervenants, les activités se sont bien déroulées et le bilan dosimétrique a été cohérent avec les estimations

- **Changement cible n_TOF**
 - 3 activités avec **plusieurs enjeux de radioprotection**
 - **Exposition externe** (> 200 mSv/h à contact de la cible, ~mSv/h dans la station de refroidissement)
 - Risque de **contamination** (eau activée et contaminée)
 - **Simulations Monte Carlo (FLUKA) fondamentaux** pour la phase préparatoire et **évaluation du risque radiologique** (estimation des débits de dose, conception conteneur blindé, etc.)
 - **Activité complexe**
 - Planning, coordination, estimation, essais à blanc, supervision...
 - **REX documenté** pour opérations similaires dans le futur
- **Nouvelle cible (3^{ème} génération) installée et (presque) prête à recevoir ses premiers protons (Juillet 2021)!**
 - Une **nouvelle (belle) époque** va commencer **pour n_TOF (et pour la radioprotection!)**



www.cern.ch