

18 -19
JUN
2024



Palais du
Grand Large



8^{èmes} Journées
SUR L'OPTIMISATION DE LA
RADIOPROTECTION DANS
LES DOMAINES NUCLEAIRE,
INDUSTRIEL
ET MEDICAL



Radioprotection opérationnelle à CERN- MEDICIS

Une installation pour la production de radionucléides non conventionnels pour la recherche médicale

8^{èmes} Journées sur l'optimisation de la RP, 18-19 Juin 2024, Saint-Malo (France)

Fabio POZZI¹

Elodie AUBERT¹, Pierre CARBONEZ¹, Nadine CONAN¹, Matthieu DESCHAMPS¹, Alexandre DORSIVAL¹, Charlotte DUCHEMIN¹, Laura LAMBERT¹, Siria MEDICI², Stefan ROESLER¹, Thierry STORA¹, Heinz VINCKE¹, Joachim VOLLAIRE¹

¹CERN, Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Genève, Suisse)

²CHUV/IRA, Institut de radiophysique (Lausanne, Suisse)

Credits for the icons used in this presentation: designed by [Freepik](#)



Plan de la présentation



➤ Introduction

- Le complexe d'accélérateurs du CERN
- ISOLDE et CERN-MEDICIS
- Production de faisceaux d'ions radioactifs
- CERN-MEDICIS: le concept, l'installation et l'opération



➤ La radioprotection opérationnelle à CERN-MEDICIS

- Zonage radiologique
- Manipulation d'échantillons/cibles non-scellés
- Démarche ALARA
- Système de monitoring RP



- Conclusions
- Back-up slides: Bibliographie, démarche ALARA au CERN et dosimétrie interne



Introduction à ISOLDE et MEDICIS



19/06/2024

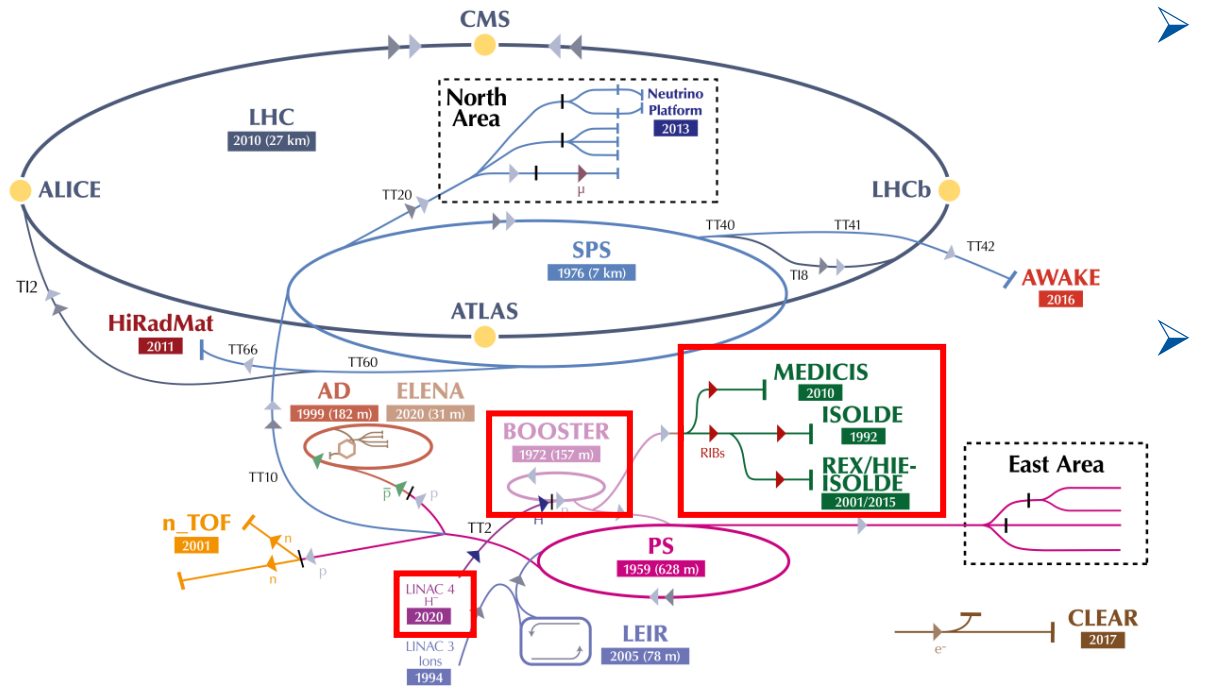
Radioprotection opérationnelle à CERN-MEDICIS - Fabio POZZI



*Online collection = beam is impacting the target as the radionuclides are extracted in the form of an ion beam

**RIBs = Radioactive Ion Beams

Le complexe d'accélérateurs du CERN et ISOLDE



- **Opérationnelle depuis 1967** et depuis 1992 dans son emplacement actuel
- **Protons pulsés à 1.4 GeV, 2 μ A (2.8 kW)**
- **Séparation de masse *online**** de radionucléides pour la production de **faisceaux d'ions radioactifs (RIBs*)**
- **Reçoit jusqu'à ~60%** des protons du PSB
- **MEDICIS** partie du complexe ISOLDE
- **Séparation de masse *offline***
- **Opérationnelle depuis fin 2017**

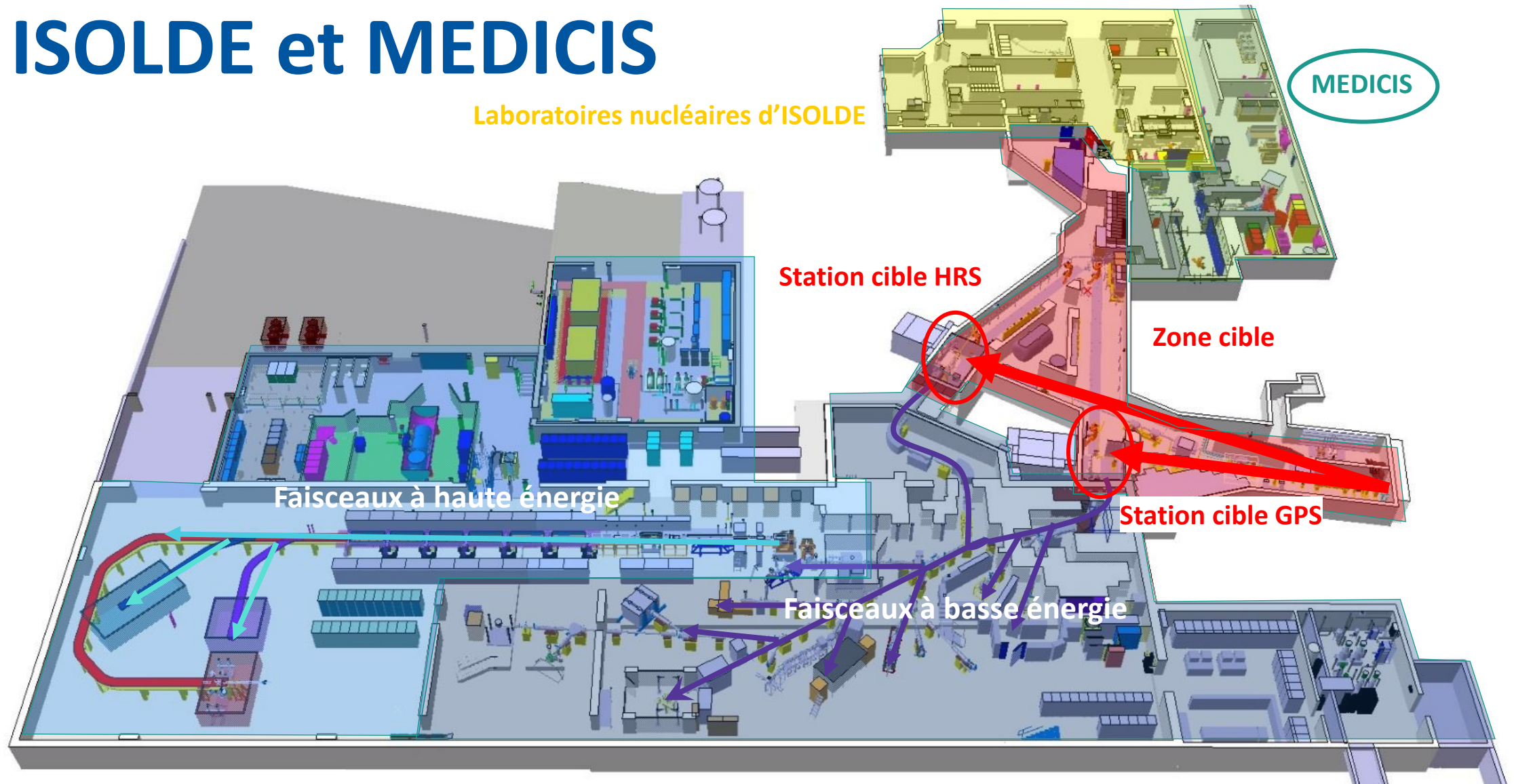


▶ H^- (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ **RIBs (Radioactive Ion Beams)** ▶ n (neutrons) ▶ \bar{p} (antiprotons) ▶ e^- (electrons) ▶ μ (muons)

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-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

ISOLDE et MEDICIS

Laboratoires nucléaires d'ISOLDE



MEDICIS

Station cible HRS

Zone cible

Faisceaux à haute énergie

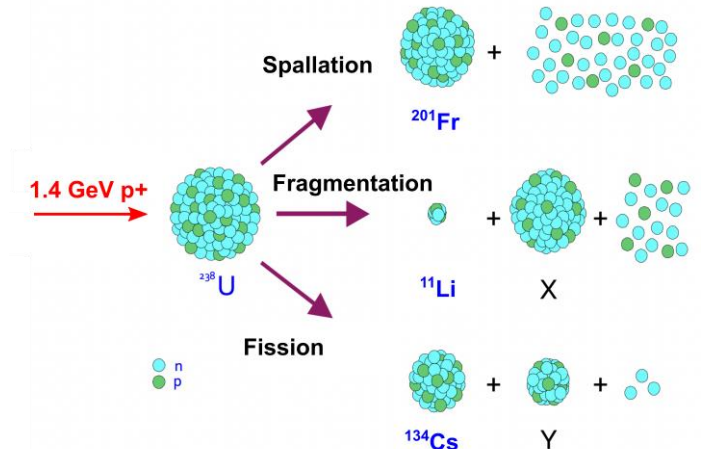
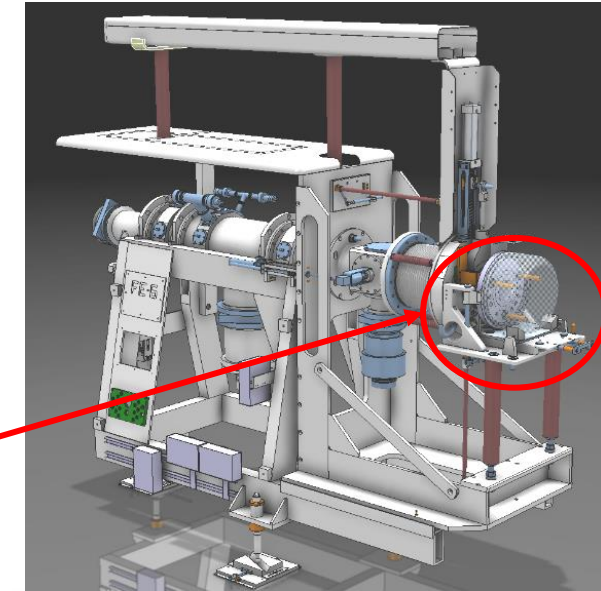
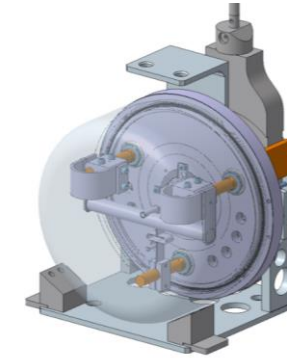
Station cible GPS

Faisceaux à basse énergie

*Online collection = beam is impacting the target as the radionuclides are extracted in the form of an ion beam

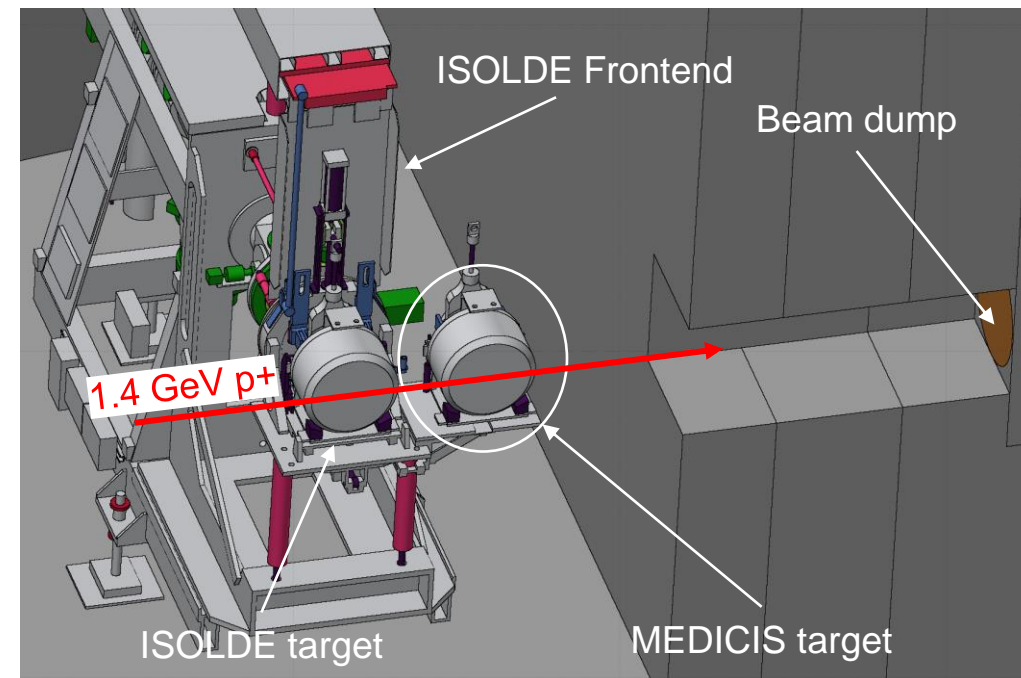
Production *RIBs* à ISOLDE

- ~30 cibles par année
 - ~60% composées de carbure d'uranium (UCx)
 - Durée de vie d'une cible ~10 jours (typiquement 5×10^{18} protons sur la cible)
- **Production *online** des faisceaux d'ions radioactifs (RIBs)**
 - Interaction protons/cible (spallation/fragmentation/fission)
 - Cible chauffée à 2000 °C (diffusion des radionucléides)
 - Ionisation et extraction des radionucléides par champ électrostatique (jusqu'à 60 kV)
 - Séparation de masse
 - Transport vers l'expérience
- **Applications:** physique nucléaire, physique de l'état solide, sciences des matériaux et de la vie

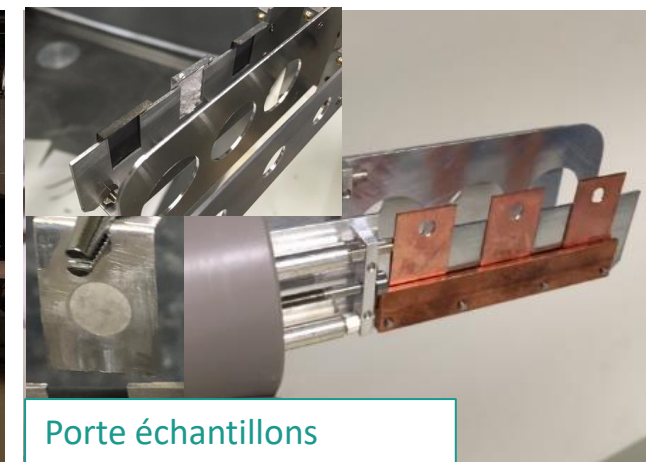
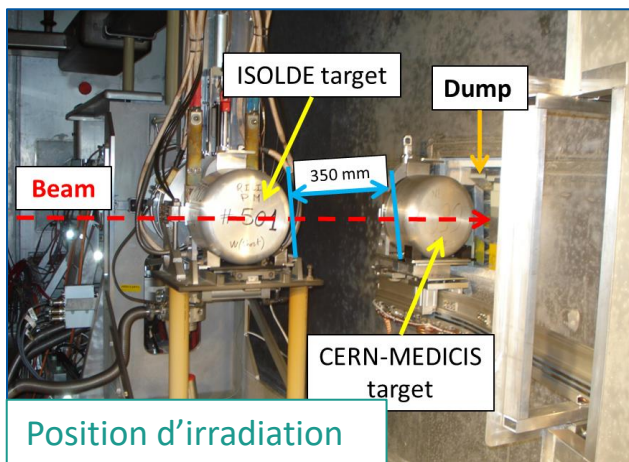
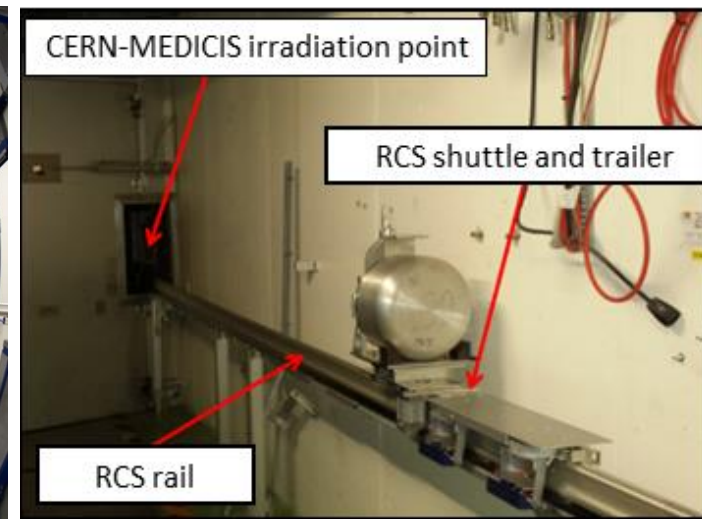
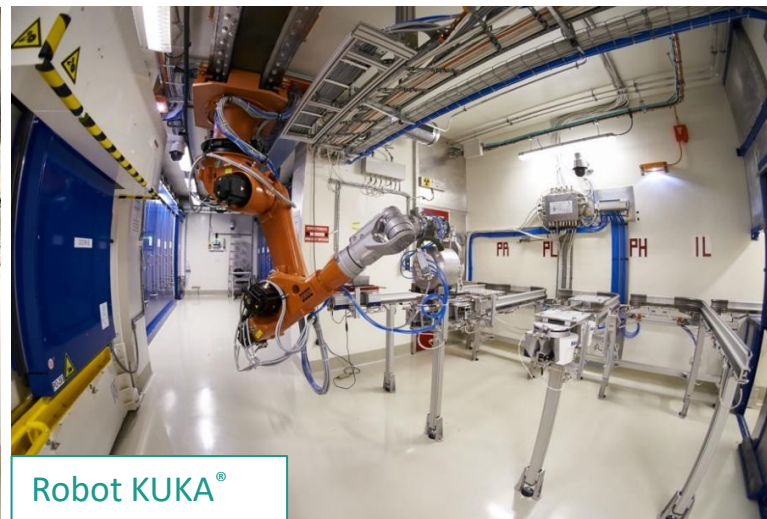


MEDICIS: le concept

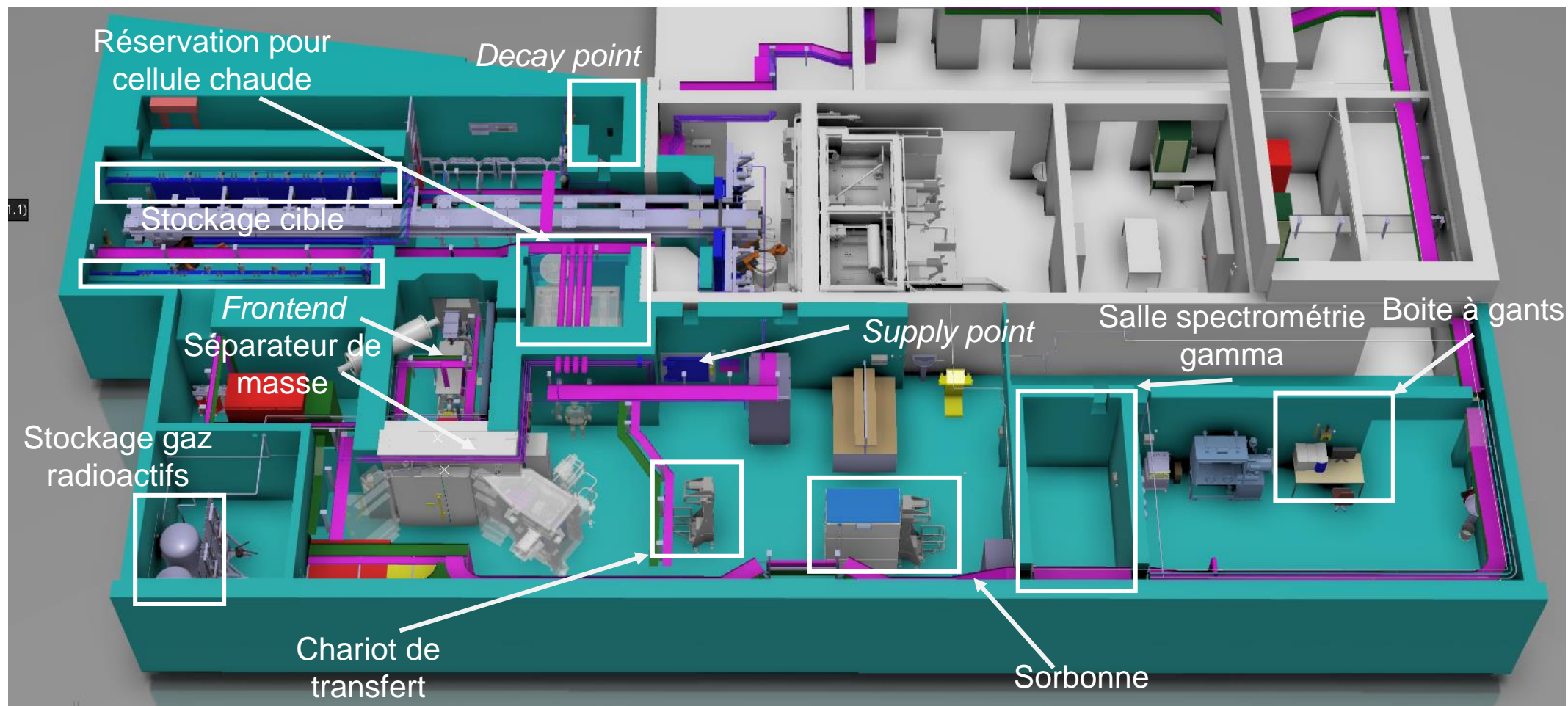
- CERN-MEDICIS est une **collaboration** entre le **CERN** et **14 instituts/hopitaux/universités**
 - Programme scientifique défini par la Collaboration
- Principe d'opération
 - Cible MEDICIS "insérée" entre cible ISOLDE et le *beam dump*
 - Cible MEDICIS irradiée par les protons qui n'interagissent pas avec la cible ISOLDE en amont
 - Cible MEDICIS transportée vers le labo MEDICIS et couplée avec le *Frontend* MEDICIS
 - Collection de radionucléides *offline*



CERN-MEDICIS: l'installation 1/2



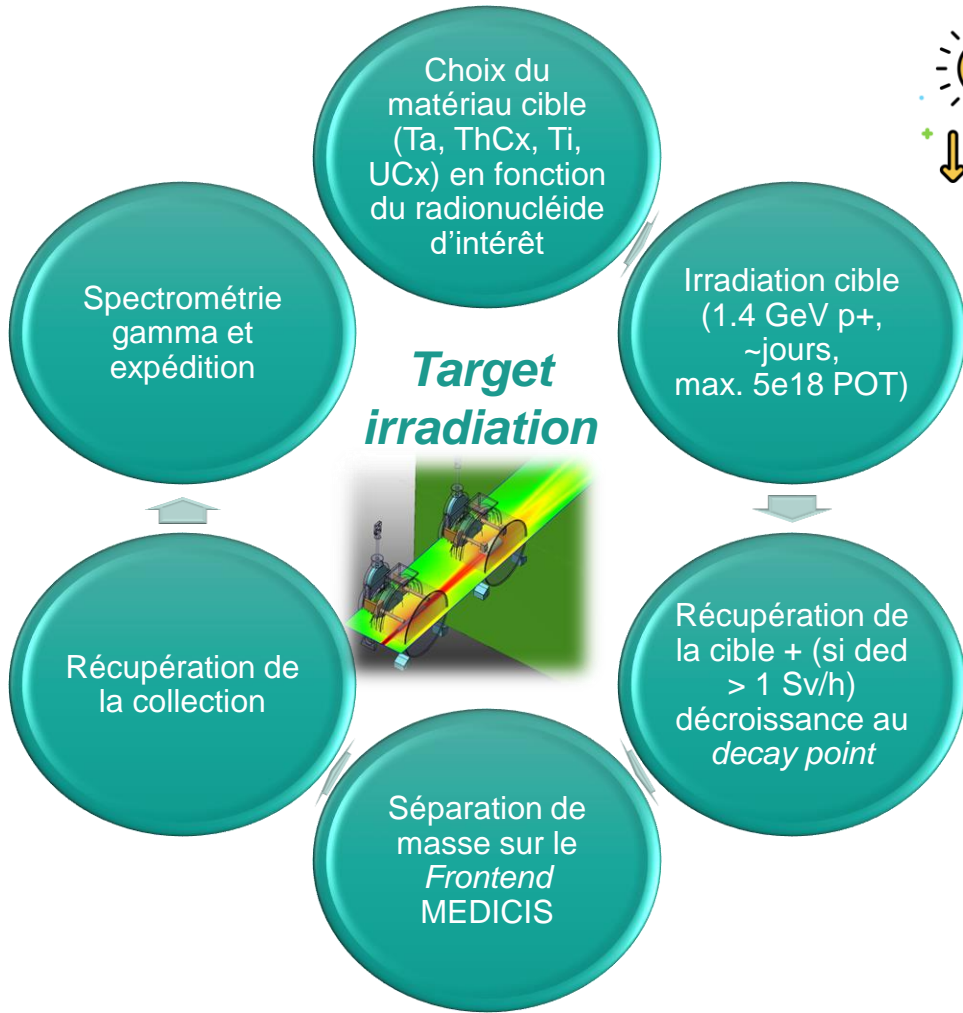
CERN-MEDICIS: l'installation 2/2



CERN-MEDICIS: l'opération 1/2



Début juin collection de Ra-225 avec efficacité record de 52% (~100 MBq)!



Activité produite dans la cible par irradiation: **dizaines de GBq**
Activité collectée: jusqu'à ~1 GBq



- Ba-128/Cs-128, Cs-129
- Tb-149, Tb-152, Tb-155
- Tm-165, Tm-167
- Sc-44, Sc-47
- Pt-191
- Ra-225/Ac-225
- Ra-224 (générateur de Pb-212)

CERN-MEDICIS: l'opération 2/2

CERN-MEDICIS opérationnelle même lorsque les protons ne sont disponibles (par exemple, au complexe des accélérateurs)

sck cen



Spectrométrie gamma et expédition

Irradiation d'échantillons dans des cyclotrons ou des réacteurs de recherche

PAUL SCHERRER INSTITUT



Utilisation d'échantillons radioactifs externes

Er-169

Déconditionne-

Yb-175

échantillons et

Pt-195m

la cible (labo

Tb-155

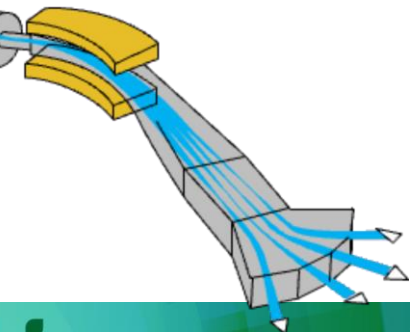
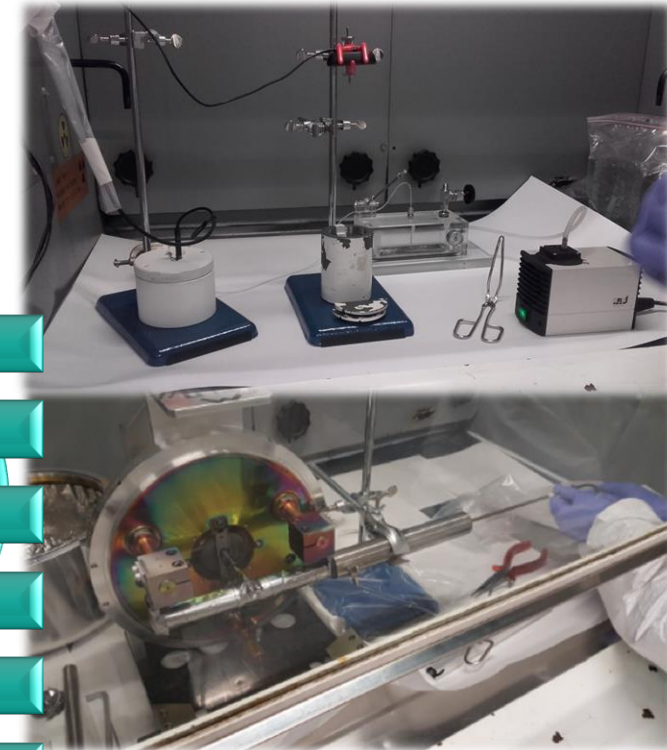
Sm-153

Tm-167

Ac-225

Séparation de
Frontend
MEDICIS

Récupération de la collection





Radioprotection opérationnelle à CERN-MEDICIS



19/06/2024

Radioprotection opérationnelle à CERN-MEDICIS - Fabio POZZI



Zonage radiologique au CERN

En Bq/m³ et spécifique à chaque radionucléide
 Inhalation de l'activité équivalente à 1xCA sur une année (2000 h) → E₅₀ = 20 mSv

<20% du temps de travail

En Bq/cm² et spécifique à chaque radionucléide

Labo CERN-MEDICIS → Séjour limité principalement en raison de l'exposition externe lors de la collection et de la récupération des échantillons, ainsi que du risque de contamination

Radiation Area	Annual dose limit (year)	Ambient dose equivalent rate		Sign	Specific airborne radioactivity*	Specific surface contamination**
		permanent occupancy	low occupancy			
Authorized	1 mSv	0.5 µSv/h	2.5 µSv/h		0.05 CA	1 CS
Controlled	6 mSv	3 µSv/h	15 µSv/h		0.1 CA	1 CS
Simple Controlled	20 mSv	10 µSv/h	50 µSv/h		0.1 CA	1 CS
Limited Stay	20 mSv	-	2 mSv/h		100 CA	4000 CS
High Radiation	20 mSv	-	100 mSv/h		1000 CA	40000 CS
Prohibited	20 mSv	-	> 100 mSv/h		> 1000 CA	> 40000 CS



*ORaP = Ordonnance sur la RadioProtection

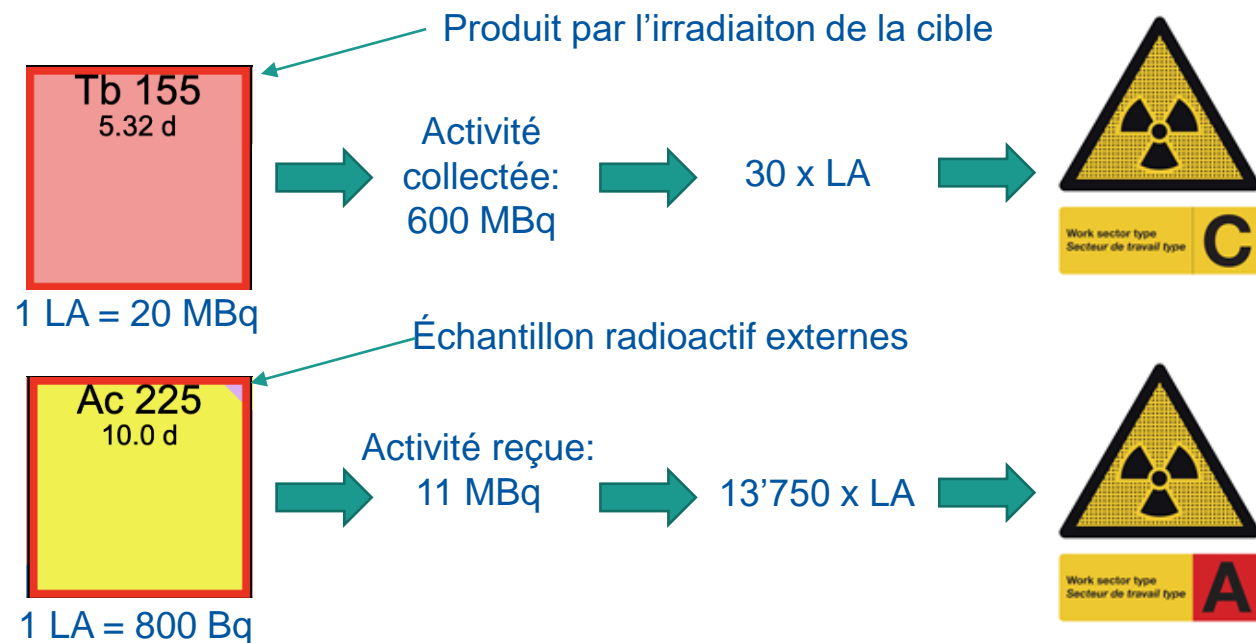
**L'inhalation unique d'une activité LA provoque une dose efficace engage (E_{50}) de 5 mSv

Labo CERN-MEDICIS: secteur de travail

“Les travaux avec des matières radioactives dont l'activité excède la limite d'autorisation, à l'exception des sources radioactives scellées, doivent être exécutés dans des locaux, à l'intérieur de secteurs contrôlés, aménagés en secteur de travail conformément à l'art. 81.” [Art. 78]

Secteur de travail	
Type C	1-100 x LA
Type B	1-10'000 x LA
Type A	1 to > 10'000 x LA

Étant donné que CERN-MEDICIS est un secteur de travail de type A, il garantit le plus haut niveau de sécurité ainsi qu'un raisonnable degré de flexibilité (installation de recherche)



Exigence	A	B	C
Sols, surface de travail	Revêtement continue et imperméable		
Ancrage au sol	Étanchéifié		
Vestiaire	X		
Douche de décontamination	X		
Lavabo à proximité	X	X	X
Ventilation artificielle	X	X	
Au moins 5 changements d'air par h	X	X	
Dépression par rapport aux locaux avoisinants	X	X	
Dépression garantie en cas d'interruption du réseau électrique	X		

ALARA à CERN-MEDICIS: implémentation technique

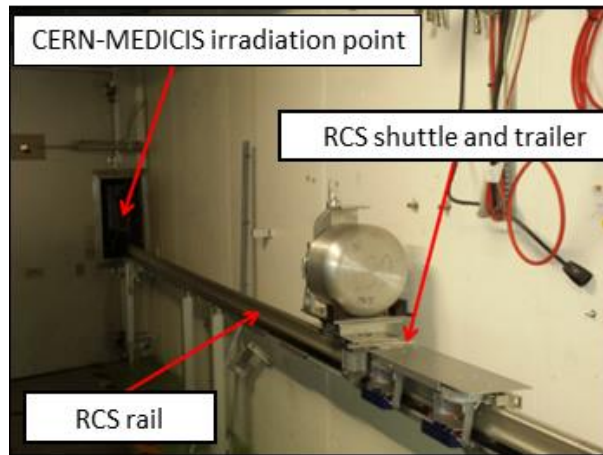
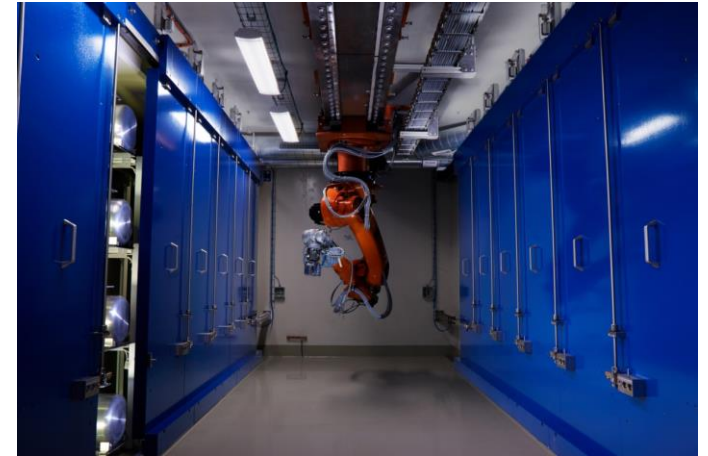
Cibles manipulées à distance (robot KUKA + système de convoyeur sur rail)

Decay point blindé

Surveillance à distance de l'implantation des radionucléides

Cible stockée par le robot sur des étagères blindées

Retrait de la collection optimisé (chariot blindé, sorbonne, boîte à gants)



ALARA à MEDICIS: implémentation administrative

The screenshot shows the IMPACT web interface. At the top, it says 'CERN Accelerating science' and 'Signed in as: fpozzi (CERN)'. The main header includes the IMPACT logo and a search bar. The left sidebar contains a 'Menu' with various activity types like 'Activities', 'Favourite Activities', 'Activity Clusters', etc. The main content area shows details for activity '197658 - In progress'. A red box highlights the activity ID '197658' with the label 'Numéro d'IMPACT*'. Another red box highlights the 'Title*', 'Responsible*', and 'Activity Cluster' fields with the label 'Informations génériques'. A third red box highlights the 'What' section, which contains a description of the activity: 'Collection and retrieval of Tm-167/165 to be done on the 15/09/2022. Estimated activities (extrapolated from Tm-165 collection on 24.10.2018 from Ta669M target): Tm-167:150MBq (impurity 1MBq Gd-151) Tm-165: 1MBq (impurity 100kBq Gd-149)'. A label 'Description de l'activité' points to this section. Below the 'What' section, the 'Where' section shows locations: '179/R (Isolde et MEDICIS)' and '179/R-025'. A red diagonal banner at the bottom right contains the text: 'Activités effectuées à CERN-MEDICIS sont systématiquement déclarées via IMPACT* → Approbation par la RP'.

ALARA à MEDICIS: implémentation administrative

The screenshot displays the IMPACT web interface. At the top, the CERN logo and 'Accelerating science' tagline are visible, along with the user 'fpozzi (CERN)' and navigation links for 'Sign out' and 'Directory'. A search bar is located below the header. The main content area shows details for activity '197658 - In progress', with a red box highlighting the activity ID and the label 'Numéro d'IMPACT*'. Below this, a form contains 'Informations génériques' (General Information) with fields for Title, Responsible, Activity Cluster, Facility, Activity Type, and Priority. A sidebar on the left lists various menu items, with 'RP Assessment' highlighted in green. The central part of the interface features a 'Radiation Protection Assessment' section, also highlighted with a red box, containing fields for 'Current DIMR Version', 'Contaminating works?', 'Total collective working time', 'Max. individual working time', 'Highest Area Classification', 'ALARA Level', 'Operational dosimetry mandatory?', 'RP presence required?', and 'RP/RSO Recommendations'. A red box on the right points to this section with the text 'Lien à l'évaluation de RP (DIMR)'. At the bottom, there is a section for 'Inactive DIMR Versions' with a link to 'Open Dose Report'.

Lien à l'évaluation de RP (DIMR)

ALARA à MEDICIS: implémentation administrative

CERN Accelerating science

Signed in as: fpozzi (CERN) Sign out Directory

IMPACT Search for Activities, Clusters, DIMRs, VICs, Lockouts, Fire Permits, IS37s, Work Dose Plannings...

Menu 8010996 / 1 - Status: In Progress Numéro DIMR* (lié au numéro d'IMPACT) Created by ALEXANDRE DORSIVAL on 12-Sep-2022 17:55

Activities
Favourite Activities
Activity Clusters
DIMRs
WDPs
VICs
Lockouts
Fire Permits
IS37s
Notes de Coupure
Dashboard

Opened Forms
Activity 197658 - ME... X
DIMR 8010996/1 - M... X

Work and Dose Planning (prévisionnel de dose étape par étape)

Suivi de la dosimétrie opérationnelle

Radiation Protection Assessment for activity
197658 - MEDICIS - collection and retrieval of Tm-167/165 #1 2022

RSSO / RPE: ANA-PAULA BERNARDES
RP presence required?: Required at start and during intervention
Facility: MEDICIS & Target Area
Locations: 179/R-025, 179/R (Isolde et MEDIC)
General Job Code:
Equipment Job Code:
PCRs: THOMAS MARIE GIGLEUX

Work Dose Planning steps: 2910/1 - Retrieval of Tm-167/165 foils, Transferr...
Optimization Attachments: Manage Optimization Attachments
Other Attachments: Manage Other Attachments
Radiation Dose Report: Open Dose Report

Operational dosimetry mandatory?: No Yes
Highest Area Classification: Controlled - High Radiation

Average estimated dose rate:	32.4	µSv/h
Total collective working time:	0.1	person.h
Max. individual working time:	0.1	h
Estimated Collective Dose:	4	person.µSv
Maximum estimated individual dose:	2	µSv
Individual dose alarm per intervention:	50	µSv
Max. estimated dose rate:	45	µSv/h
Dose rate alarm threshold:	2000	µSv/h
Contaminating works?:	Yes	
Max. estimated airborne contamination:	0.05	CA
Max. estimated surface contamination:	20	CS

- Évaluation de RP:
- Dose individuelle max.
 - Dose collective
 - Débit de dose max.
 - Contamination surfacique et de l'air
 - Configuration seuil d'alarme pour le dosimètre opérationnel
- ↓
- Définition du niveau ALARA selon les critères du CERN (back-up slide)

Systeme de monitoring RP



Dosimétrie

- Corp entier
 - Dosimètre passif (DIS)
 - Dosimètre actif (DMC)
- Extrémités
 - Bague dosimétrique (passif)
 - Sonde actif (collections à haute activité)



Exposition externe

- Area mixed field monitor (High-pressure ionisation chamber)
- Low range gamma probe (proportional counting tube)
- High range gamma probe (GM counting tube)



Contamination surfacique et de l'air

- Alpha/beta Particulate Monitor (ABPM)
- Moniteur mains-pieds (HFM)

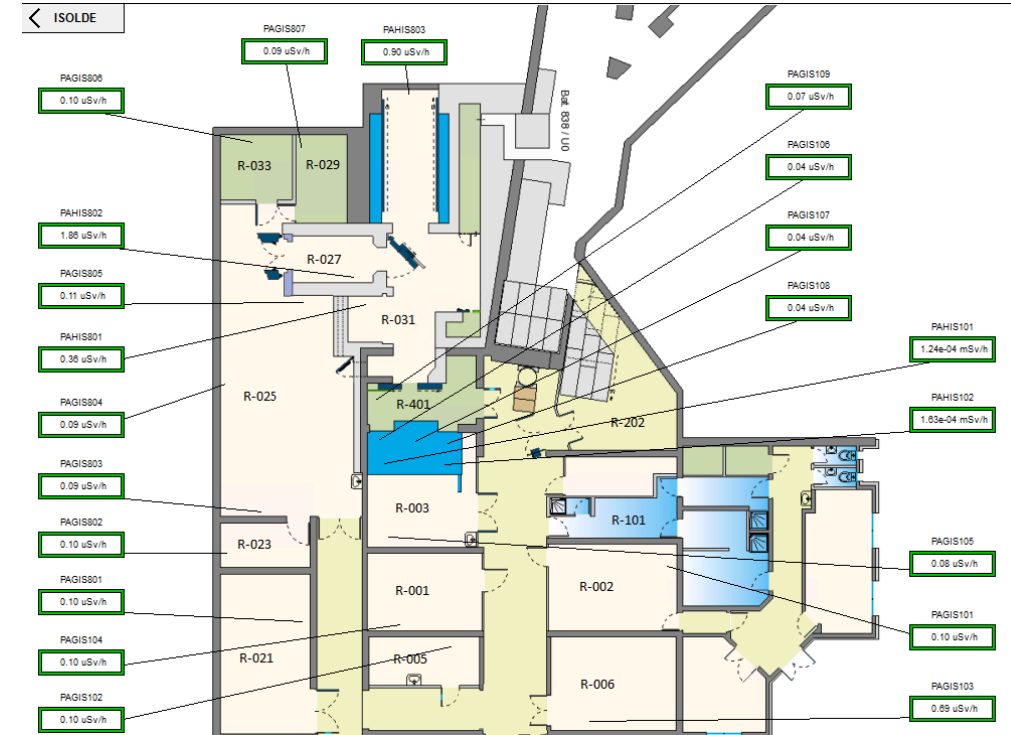


Environnement

- Iodine sampler
- Aerosol sampler
- Online gas monitor
- Alpha/beta online monitor



Tous les moniteurs sont intégrés dans le système de supervision REMUS (Radiation and Environment Monitoring Unified Supervision)



Operational Radiation Protection Challenges at MEDICIS, a CERN Facility for the Production of Non-Conventional Isotopes for Medical Research

Fabio Pozzi¹, Elodie Aubert¹, Pierre Carbonez¹, Alexandre Dorsival¹, Charlotte Duchemin^{1,2}, Siria Medici¹, Thierry Stora¹, Heinz Vincke¹

¹CERN, Route de Meyrin, Geneva 1211, Switzerland

²KU Leuven IKS/QSP - Institute for Nuclear and Radiation Physics / Quantum Solid State Physics, Celestijnenlaan 200D, 3001 Leuven - Belgium

INTRODUCTION

MEDICIS (MEDical Isotopes Collected from ISOLDE) is a CERN research facility [1], which is operating since end of 2017. MEDICIS aims at providing a wide range of radioisotopes, some of which can only be produced at CERN thanks to the unique ISOLDE facility, for medical research. These radioisotopes are destined primarily to hospitals and research centers in Switzerland and across Europe. The production, collection and conditioning of these unsealed radioactive sources entails a risk of external

Conclusions

At ISOLDE, only 10% of the proton beam interacts in the target, whilst the remaining protons are absorbed inside beam dumps situated after the targets. The MEDICIS principle is to insert an additional thick target between the ISOLDE target on the HRS Front-End and its beam dump. Consequently, the MEDICIS target can be irradiated in parallel to the ISOLDE one and be retrieved remotely from the target area to MEDICIS laboratory after a predefined irradiation time and given number of protons. After the irradiation, the target can be temporarily stored for decay before being transferred to the MEDICIS Front-End. Once the target is connected to the MEDICIS Front-End, the





Conclusions

- Depuis 2017, CERN-MEDICIS est opérationnelle pour la production de radionucléides non conventionnels pour la recherche médicale
- Les défis radiologiques liés à la manipulation des échantillons/cibles non-scellées sont adressés par la RP avec
 - **Démarche ALARA** implémentée depuis la phase de conception (**implémentation technique**)
 - Laboratoires conforme aux **normes suisses** les plus élevées en matière de protection contre les rayonnements ionisants et de sécurité.
 - **Démarche ALARA**, formalisée par le CERN, est constamment mise en œuvre (**implémentation administrative**)
 - Un réseau de **surveillance de l'exposition externe et interne** aux rayonnements ionisants est utilisé
 - Une **supervision** dédiée de la **radioprotection** est assurée par trois membres du personnel assignés aux installations MEDICIS/ISOLDE

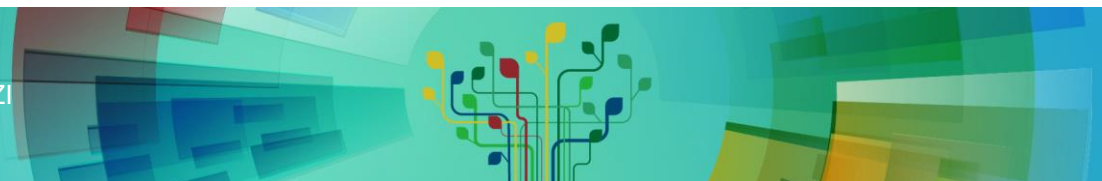


Back-up slides



19/06/2024

Radioprotection opérationnelle à CERN-MEDICIS - Fabio POZZI



Bibliographie

- MEDICIS website: <https://medicis.cern>
- F. Pozzi *et al.*, **Operation radiation protection challenges at MEDICIS, a CERN facility for the production of non-conventional isotopes for medical research**, <http://dx.doi.org/10.13182/ICRSRPSD22-39079>
- C. Duchemin *et al.*, **CERN-MEDICIS: A review since commissioning in 2017**, *Front. Med.*, 15 July 2021, <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.693682>
- S. Medici, **Development of a triage monitoring programme for the intake of radionuclides at CERN**, PhD thesis, [CERN-THESIS-2020-149](#)



ALARA approach at CERN

A formalized ALARA approach is vital for a successful Radiation Protection of over 10'000 Radiation Workers and is supported and enforced by the CERN management.
 Optimization at CERN is consistently implemented from design, operation to dismantling of facilities at various levels depending on the radiological risks

Group 1 criteria define ALARA level

Individual dose equi.	Level I	100 μ Sv	Level II	1 mSv	Level III
Collective dose equi.		500 μ Sv		5 mSv	

Group 2 criteria are the **bases of a radiological risk assessment** (including accidents and incident scenarios) by the RSO and HSE-RP prior to the final ALARA level classification of the intervention.

Ambient dose equivalent rate	Level I	50 μ Sv/hr	Level II	2 mSv/hr	Level III
Airborne activity in CA		5 CA		200 CA	
Surface contamination in CS		10 CS		100 CS	



Internal dosimetry



- Working with **unsealed radioactive sources** entails **risk of incorporation**
 - It **must be addressed by** appropriate **screening measurements and procedures**, in particular in the context of contamination incidents
 - **Challenges** arise from measurement difficulties for **low-energy beta emitters** (Ac-227, Ni-63) or in risk assessment for nuclides that are not yet covered by national legislations (Ac-225, Ac-227, Sc-44)
- **Internal monitoring program at MEDICIS being set-up**
 - **In-vivo screening measurements** → has an incorporation taken place or not?
 - **Incorporation measurements** → quantification of incorporated activity and E_{50}
- **Collaboration between CERN and Institute of Radiation Physics (IRA) in Lausanne (Switzerland)**
 - Establish **competence centre for internal dosimetry** (in vitro measurements, whole body spectrometer, electronic interface...)
 - Establishment of **routine screening measurements** with conventional RP instruments
 - Development of **dose assessment procedures** in the event of an intake incident
 - Establish routine **whole body counting measurements at CERN**
 - Elaborate new **procedures for biological sample analysis**

