



HSE

Occupational Health & Safety  
and Environmental Protection unit

# ICARE : Un outil pour la classification des matériels activés au CERN dans le cadre des transports inter-sites

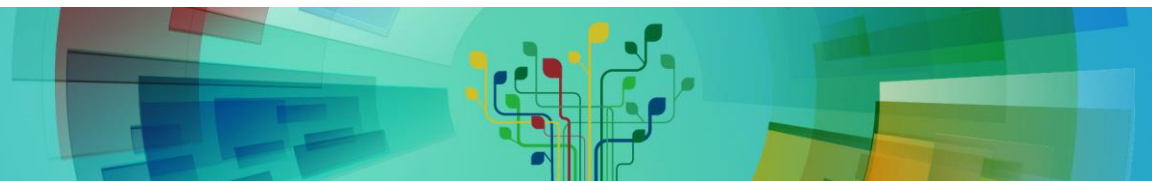


# Le CERN et le groupe de radioprotection

Fondé en 1954 sur les territoires Français et Suisse

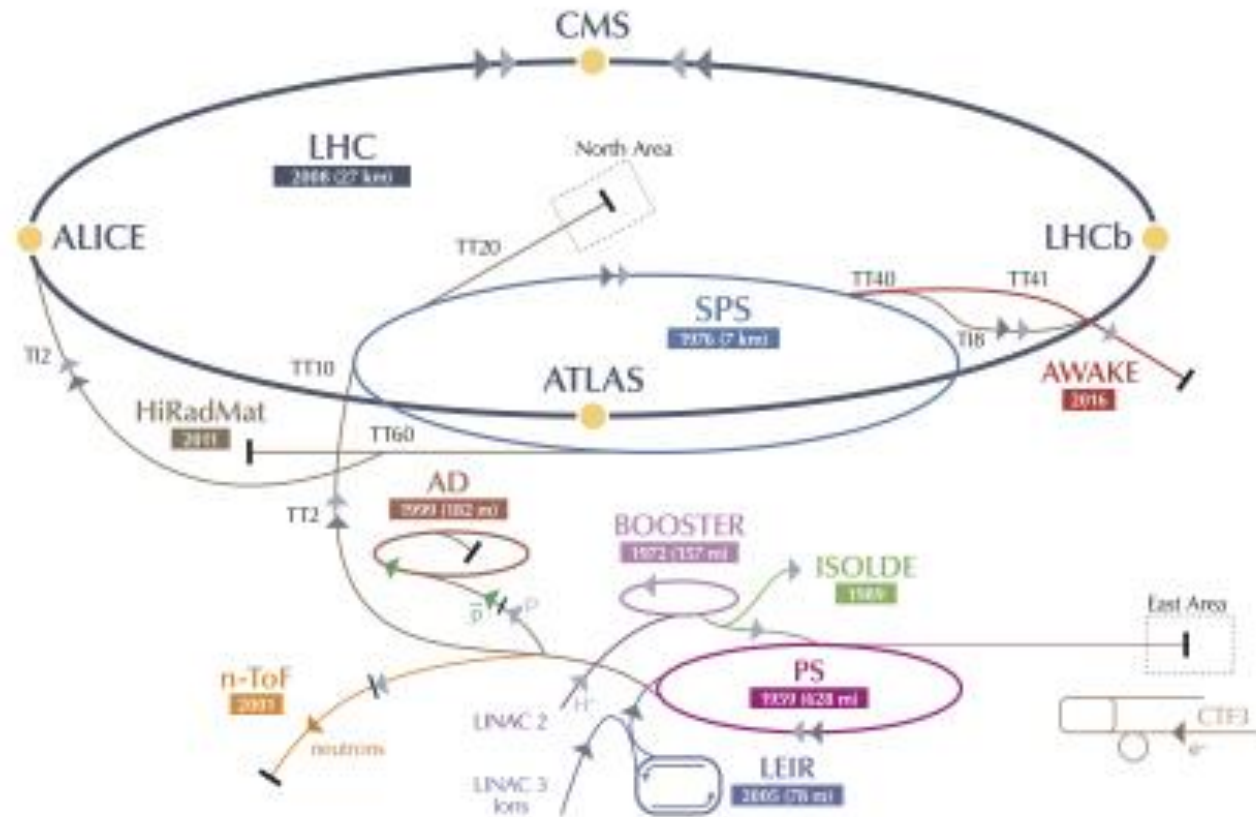
Organisation internationale pour promouvoir la collaboration scientifique dans la recherche en physique des particules

Mise à disposition d'un complexe d'accélérateurs

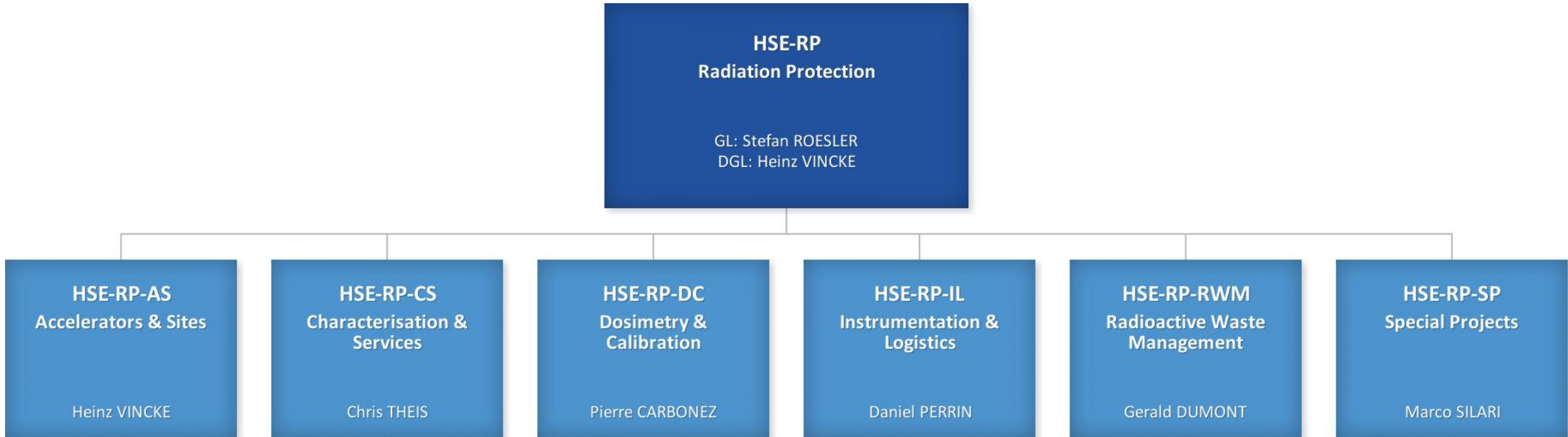


# Le CERN et le groupe de radioprotection

CERN's Accelerator Complex



# Le CERN et le groupe de radioprotection



→ ~80 Personnes (Physiciens, Ingénieurs, Techniciens, Stagiaires...)

# Contexte opérationnel

Le fonctionnement des accélérateurs de particules du CERN induit l'activation des matériels à leur voisinage, par divers phénomènes physiques (spallation, capture radiative, évaporation...)



Ces matériels, de natures très diverses (échantillons irradiés, pompes, aimants collimateurs, klystrons, cibles, etc...) peuvent être amenés à être transportés entre les sites du CERN.

L'inventaire des radionucléides produits par activation peut être très large (> dizaine de radionucléides) et est principalement dépendant :

- de la composition du matériel
- du spectre d'irradiation
- des paramètres d'irradiation (temps d'irradiation/cooling, position du matériel)

# Contexte opérationnel

Le CERN assure entre 1000 et 2000 transports internes (intra-site et inter-site) de matériels radioactifs pour lesquels les contraintes opérationnelles sont fortes (planning, disponibilité des équipes et des moyens de chargement, etc...).

Une caractérisation par spectrométrie gamma de chaque matériel en vue de leur classification transport est **inenvisageable** vu le volume de transports évoqué.

En 2018, le groupe de radioprotection du CERN a développé une méthode simple et efficace pour la classification des matériels activés dans les accélérateurs du CERN basé sur le débit d'équivalent de dose.

→ *présenté au PATRAM 2019 par N. RIGGAZ.*

# Caracterisation - Classification

Le code de calcul ActiWiz a permis de simuler une grande variété de scénarios dans les accélérateurs du CERN, afin de déterminer pour chaque scénario l'inventaire des radionucléides attendu, ainsi que le débit d'équivalent de dose associé.

Ces résultats ont été intégrés dans un premier outil, **RAW**, qui permettait de les comparer entre eux, et de déterminer pour chaque classification le débit de dose minimal qui satisfait l'équation :

$$\sum_i \frac{A_i}{TL_i} = 1$$

# Caracterisation - Classification

Néanmoins l'outil RAW avait des limitations inhérentes à sa conception (base de données de résultats) :

- RAW ne permettait pas d'intégrer « en temps réel » les mises à jour du code ActiWiz → calculs potentiellement obsolètes?
- Calculs et résultats disponibles pour un nombre limité de matériaux. Implémentation de nouveaux matériaux compliqué.
- RAW ne fournissait pas de données directement utiles au transport (activité, nombre de A2, radioéléments prépondérants)

**→ Développement d'un nouvel outil plus flexible, et plus adapté aux besoins opérationnels transport : *ICARE***



# ICARE – Specifications techniques

2019 : spécification technique pour la conception de ce nouvel outil

La méthode reste inchangée, mais l'outil devra permettre de faire les calculs directement dans ActiWiz grâce à une connexion dynamique entre les outils  
→ résultats donné par ICARE « à jour » des évolutions du code ActiWiz

# ICARE – Specifications techniques

3 modules imaginés lors de la définition du besoin :

- *Scenarios prédéfinis (méthode simplifié)*
- *Scenarios « sur mesure »*
- *Inventaires radiologiques comme données d'entrée*

→ Permettra de couvrir la grande majorité des besoins opérationnels pour le *RP transport officer* (responsable de la classification transport).

# ICARE – Software

Une V1 d'ICARE a été développée en 2020. Dans cette version, les modules 1 et 2 ont été fusionnés

→ grande flexibilité

Outil testé en parallèle des résultats issus de l'outil RAW (méthode simplifiée actuelle)

→ cohérence ICARE / RAW

# ICARE – Software

Développé en Python

ICARE lié dynamiquement au code ActiWiz

→ *calculs fait dans Actiwiz – résultats post-traités dans ICARE*

Pas de GUI pour la V1

→ *interface type console*

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
+-----+
+          ActiScript runtime environment 2.0          +
+ C. Theis, H. Vincke 6/11/2020                        +
+-----+
G:\Departments\Safety\Groups\RP\Projects\ActiWiz\ICARE\..\ActiWiz 3.5\actiscript\Scripts
Importing core and transport toolbox...
[Warning] ActiWiz installation path = G:\Departments\Safety\Groups\RP\Projects\ActiWiz\ActiWiz 3.5
[Warning] !!!!! Please use full path for referring to files in your scripts !!!!! ActiWiz needed to change the current dir.

-----
Actiwiz - CERN by H. Vincke and C. Theis, (c) CERN 2019
Version 3.5.11/2021-2909 - CERN - x64, library version: 3.5.7/061021 - 64bit - MP
Decay engine version 3.12/2021 - multiprecision - 512 bits
CERN does not endorse the results contained in this report and assumes no responsibility for those values and their use
-----

          /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
         /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
        /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
       /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
      /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
     /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
    /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
   /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
  /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
 /::\  /::\  /::\  /::\  /::\
/::\  /::\  /::\  /::\  /::\

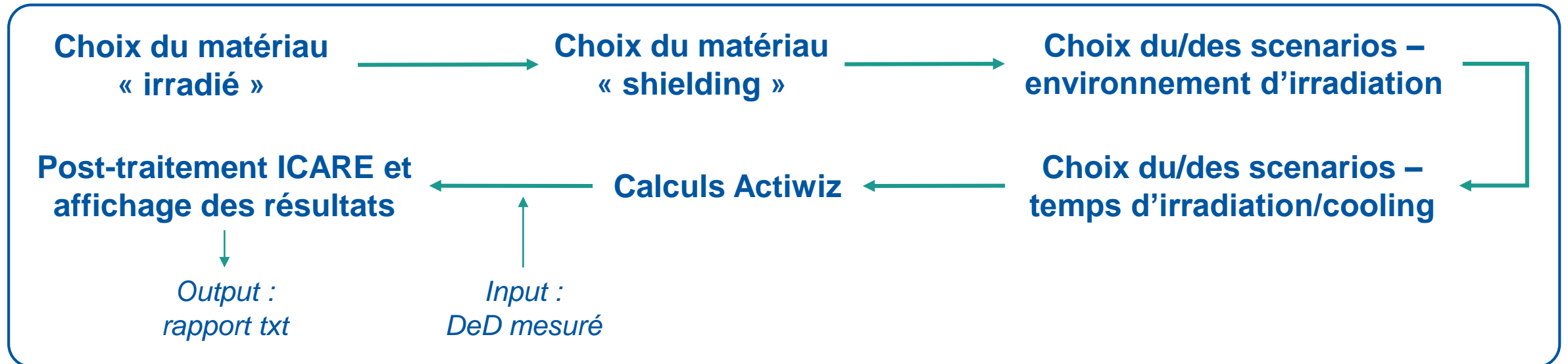
Version: 1.1.0 / 300622
Authors P. Bertreix, C. Theis, H. Vincke
Copyright (C) 2020, 2021 CERN

-----
MATERIAL SELECTION:
=====
0.) Steel_304L
1.) Aluminium_6060
2.) Concrete_CERF_Eu
3.) Concrete_Barite
4.) Copper_CUOFE
5.) Lead_HPPb4N
Please select one of the materials given above or enter 99 for a wider selection or 100 to enter a file name:
```

ICARE software - interface utilisateur

# ICARE – Software

Définition « linéaire » des données d'entrées nécessaires pour les calculs



## Résultats ICARE

- DeD par classification transport
- Activité (Bq)
- A/Aexempté (Bq et Bq/g)
- A/A2
- Radioéléments prépondérants par classification transport

# ICARE – Résultats



```

exempted-specific ... OK (max. DR = 5.72E+00 uSv/h) [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
excepted ... OK (max. DR = 1.78E+01 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
lsa1 ... OK (max. DR = 1.72E+02 uSv/h) [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
lsa2 ... OK (max. DR = 2.24E+06 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
lsa3 ... OK (max. DR = 4.47E+07 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
typeA ... OK (max. DR = 1.78E+04 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
    
```

```

-----
Date Activity/Aexempted-total estimate based on measured dose rate = 1.55E+03 +/- 0.08%
Material Activity/Aexempted-specific estimate based on measured dose rate = 1.75E-01 +/- 0.01%
Self absorption mater: Activity/A2 estimate based on measured dose rate = 5.63E-05 +/- 0.04%
Measured dose rate: Total activity estimate based on measured dose rate = 4.86E+08 Bq +/- 0.04%
    
```

```

-----
Size = 256 x 256 x 64 cm3
-----
exempted-specific ... OK (max. DR = 8.55E+00 uSv/h) [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
excepted ... OK (max. DR = 3.32E+00 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
Complex: LHC lsa1 ... OK (max. DR = 2.57E+02 uSv/h) [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
Evaluated 7 scenarios: lsa2 ... OK (max. DR = 3.34E+06 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
* 7 TeV - Act: lsa3 ... OK (max. DR = 6.68E+07 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
* 7 TeV - Act: typeA ... OK (max. DR = 3.32E+03 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
* 7 TeV - Act:
* 7 TeV - Act: Activity/Aexempted-total estimate based on measured dose rate = 8.30E+03 +/- 0.08%
* 7 TeV - Act: Activity/Aexempted-specific estimate based on measured dose rate = 1.17E-01 +/- 0.01%
* 7 TeV - Act: Activity/A2 estimate based on measured dose rate = 3.01E-04 +/- 0.04%
Total activity estimate based on measured dose rate = 2.60E+09 Bq +/- 0.04%
    
```

## SUMMARY

```

-----
1 day, 1 week, 1 year,
-----
Max. residual dose rate as a function of a specific dimension and transport class, that are compatible with
a measured dose rate of 1.0 uSv/h:
Small objects (<= 32x32x32 cm3):
    
```

```

-----
1 day, 1 week, 1 month
excepted ... OK (max. DR = 7.59E+01 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
lsa2 ... OK (max. DR = 6.81E+02 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
lsa3 ... OK (max. DR = 1.36E+04 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
typeA ... OK (max. DR = 7.59E+04 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
Activity/Aexempted-total estimate based on measured dose rate = 3.62E+02 +/- 0.08%
Activity/Aexempted-specific estimate based on measured dose rate = 5.44E+02 +/- 0.01%
Activity/A2 estimate based on measured dose rate = 1.32E-05 +/- 0.04%
The following classif: Total activity estimate based on measured dose rate = 1.14E+08 Bq +/- 0.04%
    
```

```

-----
Large objects (> 32x32x32 cm3):
-----
exempted-specific ... OK (max. DR = 3.36E+00 uSv/h) [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
excepted ... OK (max. DR = 3.32E+00 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
lsa1 ... OK (max. DR = 1.01E+02 uSv/h) [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
lsa2 ... OK (max. DR = 1.31E+06 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
lsa3 ... OK (max. DR = 2.62E+07 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
typeA ... OK (max. DR = 3.32E+03 uSv/h) [Ca-45 : 93%, ]
Activity/Aexempted-total estimate based on measured dose rate = 8.30E+03 +/- 0.08%
Activity/Aexempted-specific estimate based on measured dose rate = 2.97E-01 +/- 0.01%
Activity/A2 estimate based on measured dose rate = 3.01E-04 +/- 0.04%
Total activity estimate based on measured dose rate = 2.60E+09 Bq +/- 0.04%
    
```

```

*****
Size = 16 x 16 x 16 cm3
-----
exempted-specific ... OK (max. DR = 5.72E+00 uSv/h +/- <0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
excepted ... OK (max. DR = 1.78E+01 uSv/h +/- 0.08% [Ar-39 : 99%, ]
Size = 2 typeA lsa1 ... OK (max. DR = 1.72E+02 uSv/h +/- <0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
-----
total: lsa2 ... OK (max. DR = 2.24E+06 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
exempted-s lsa3 ... OK (max. DR = 4.47E+07 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
excepted-Size typeA ... OK (max. DR = 1.78E+04 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa1 exempt total-activity - max dose rate = 2.06E-09 uSv/h +/- 0.04% [H-3 : 98%, ]
lsa2 exempt
lsa3 except
Size = 256 x 256 x 64 cm3
typeA lsa1
total-actlsa2 exempted-specific - max dose rate = 8.55E+00 uSv/h +/- <0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
lsa3 exempted-total - max dose rate = 1.20E-04 uSv/h +/- 0.08% [Ar-39 : 99%, ]
Size = 2 typeA excepted - max dose rate = 3.32E+00 uSv/h +/- 0.04% [Ca-45 : 93%, ]
-----
total: lsa1 ... OK (max. DR = 2.57E+02 uSv/h +/- <0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
exempted-s lsa2 ... OK (max. DR = 3.34E+06 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
excepted-Size lsa3 ... OK (max. DR = 6.68E+07 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa1 exempt typeA ... OK (max. DR = 3.32E+03 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa2 exempt total-activity - max dose rate = 3.84E-10 uSv/h +/- 0.04% [H-3 : 98%, ]
lsa3 except
typeA lsa1
total-actlsa2
-----
SUMMARY
-----
Size = 8 typeA Maximum conservative dose rate limits for small objects (<= 32x32x32 cm3)
-----
total: exempted-specific - max dose rate = 1.84E-03 uSv/h +/- 0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
exempted-s exempted-total - max dose rate = 2.76E-03 uSv/h +/- 0.08% [Ar-39 : 99%, ]
exempted-tSize excepted - max dose rate = 7.59E+01 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
excepted exempt lsa1 ... OK (max. DR = 5.51E-02 uSv/h +/- 0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
lsa1 exempt lsa2 - max dose rate = 6.81E+02 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa2 exempt lsa3 - max dose rate = 1.36E+04 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa3 exempt typeA - max dose rate = 7.59E+04 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
typeA lsa1 typeA - max dose rate = 7.59E+04 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
total-actlsa2 total-activity - max dose rate = 8.80E-09 uSv/h +/- 0.04% [H-3 : 98%, ]
lsa3
Size = 64 typeA Maximum conservative dose rate limits for large objects > 32x32x32 cm3
-----
total: exempted-specific - max dose rate = 3.36E+00 uSv/h +/- <0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
exempted-s exempted-total - max dose rate = 1.20E-04 uSv/h +/- 0.08% [Ar-39 : 99%, ]
exempted-tSize excepted - max dose rate = 3.32E+00 uSv/h +/- 0.04% [Ca-45 : 93%, ]
excepted lsa1 exempt lsa1 - max dose rate = 1.01E+02 uSv/h +/- <0.01% [Eu-152 : 89%, Eu-154 : 7%, ]
lsa1 exempt lsa2 - max dose rate = 1.31E+06 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa2 exempt lsa3 - max dose rate = 2.62E+07 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
lsa3 exempt typeA - max dose rate = 3.32E+03 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
typeA lsa1 typeA - max dose rate = 3.32E+03 uSv/h +/- <0.01% [Ca-45 : 93%, ]
total-actlsa2 total-activity - max dose rate = 3.84E-10 uSv/h +/- 0.04% [H-3 : 98%, ]
lsa3
typeA
total: Please enter a measured dose rate in uSv/h to see compatible classifications (or 0 to see all):
    
```

Classifications disponibles pour le DeD mesuré

Rapport txt

# ICARE – Creator

Une version spécifique d'ICARE permet de déterminer les données de transport en fonction de la fluence de particules comme donnée d'entrée → scénario le plus proche de la réalité !

- basé sur Activiz Creator
- peut être utilisé sur tout type d'installations
- permet de considérer les scénarios non prévus par la méthode simplifiée (N-Tof...)

Ici la définition de l'environnement d'irradiation se fait via la fluence des particules (simulation) et non plus par le choix de l'installation.

Possibilité également de définir plus finement la géométrie (Lxlxh).

Output « simplifié » : DeD par classification transport - Activité [(uSv/h) / (Bq)] – radioéléments prépondérants par classification).

# ICARE – Exemple 1

- *Bloc de blindage béton  
120x60x60 cm*
- *Activé dans les accélérateur du  
CERN (LHC / PS)*
- *Transport entre le LHC et un  
bâtiment de stockage du CERN*
- *DeD @ contact = 12 uSv/h*

## S U M M A R Y

Max. residual dose rate as a function of a specific dimension and transport class, that are compatible with a measured dose rate of 12.0 uSv/h:

Small objects (<= 32x32x32 cm<sup>3</sup>):

```
-----  
excepted      ... OK (max. DR = 3.50E+01 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
lsa2          ... OK (max. DR = 5.17E+02 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
lsa3          ... OK (max. DR = 1.03E+04 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
typeA        ... OK (max. DR = 3.50E+04 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
Activity/Aexempted-total estimate based on measured dose rate = 7.08E+02 +/- 0.11%  
Activity/Aexempted-specific estimate based on measured dose rate = 5.76E+03 +/- 0.05%  
Activity/A2 estimate based on measured dose rate = 3.43E-04 +/- 0.11%  
Total activity estimate based on measured dose rate = 1.20E+08 Bq +/- 0.07%
```

Large objects (> 32x32x32 cm<sup>3</sup>):

```
-----  
lsa1          ... OK (max. DR = 9.71E+01 uSv/h) [Xe-125 : 14%, Cs-128 : 10%, Ba-128 : 10%, ]  
lsa2          ... OK (max. DR = 8.32E+05 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
lsa3          ... OK (max. DR = 1.66E+07 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
typeA        ... OK (max. DR = 1.48E+03 uSv/h) [Xe-125 : 15%, I-122 : 9%, Sb-119 : 8%, ]  
Activity/Aexempted-total estimate based on measured dose rate = 1.68E+04 +/- 0.05%  
Activity/Aexempted-specific estimate based on measured dose rate = 3.71E+00 +/- 0.05%  
Activity/A2 estimate based on measured dose rate = 8.09E-03 +/- 0.11%  
Total activity estimate based on measured dose rate = 2.93E+09 Bq +/- 0.07%
```

**Résultats ICARE**

- ✓ **LSA – 1**
- ✓ **LSA – 2**
- ✓ **LSA – 3**
- ✓ **Type A**



# ICARE – Exemple 2 : Démantèlement CNGS

Utilisation d'**ICARE Creator** de manière prédictive dans le cadre du futur démantèlement de l'expérience CNGS du CERN.

Fluences de particules (n/p/p+/p-/ $\gamma$ ) issues des simulations FLUKA utilisées afin de prédire les classifications disponibles pour différents éléments de l'expérience, et ainsi anticiper les moyens nécessaires au projet

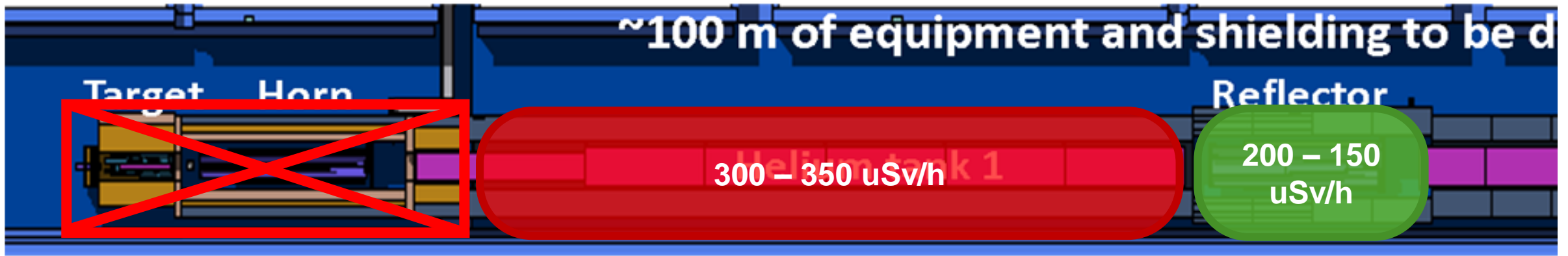
- ressources humaines
- ressources matérielles

# ICARE – Exemple 2 : Démantèlement CNGS

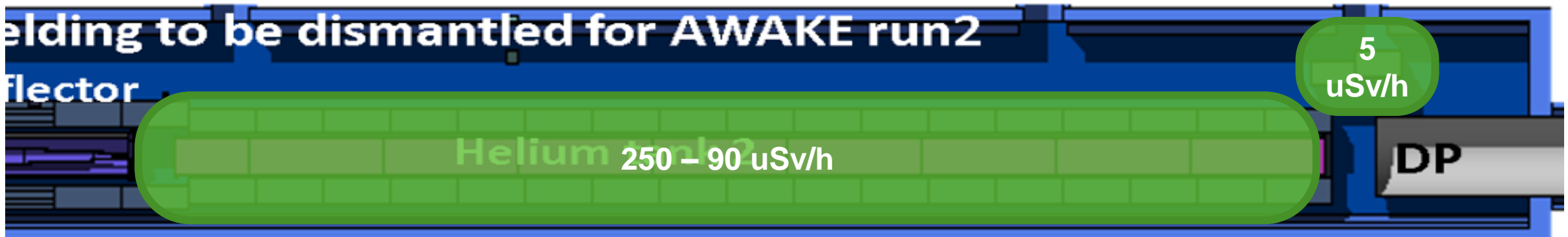
## Cas des blocs de blindage CNGS

Etude préliminaire pour l'optimisation du transport des blocs de béton activés entre le site de l'expérience CNGS et le CERN Meyrin

→ **Classifications ciblées : LSA-1 et Exempté de l'ADR**



DeD limite pour classification Exempté	7,37	8,64	8,49
DeD limite pour classification LSA-1	221	259	255



8,49	8,71	8,60	12,7	12,7	13,5
255	261	258	382	382	404

# ICARE – Exemple 2 : Démantèlement CNGS

## Zone « Reflector » - Limitations d'ICARE

Les fluences utilisées sont des « fluences moyennes », et par conséquent le DeD calculé par ICARE est un « DeD moyen » sur l'ensemble de l'élément (distribution homogène).

Dans la réalité, la distribution n'est pas parfaitement homogène. Le DeD maximal est considéré pour la classification → APPROCHE RAISONNABLEMENT CONSERVATIVE !

Pour la zone « Reflector », l'approche est trop conservatrice → utilisation d'un autre outil (ActiWiz Creator) pour calculer l'activité des blocs (Bq – Bq/g) afin de vérifier la possibilité de transport en LSA-1 ou Exempté

**→ ICARE très efficace dans le cadre de la méthode simplifiée (processus opérationnel rapide) mais il peut s'avérer très conservatif !**

# MERCI



[www.cern.ch](http://www.cern.ch)

