



5^{ème} FORUM EUROPÉEN DE RADIOPROTECTIQUE
5-7 octobre 2016
Palais des Congrès de La Grande Motte - France



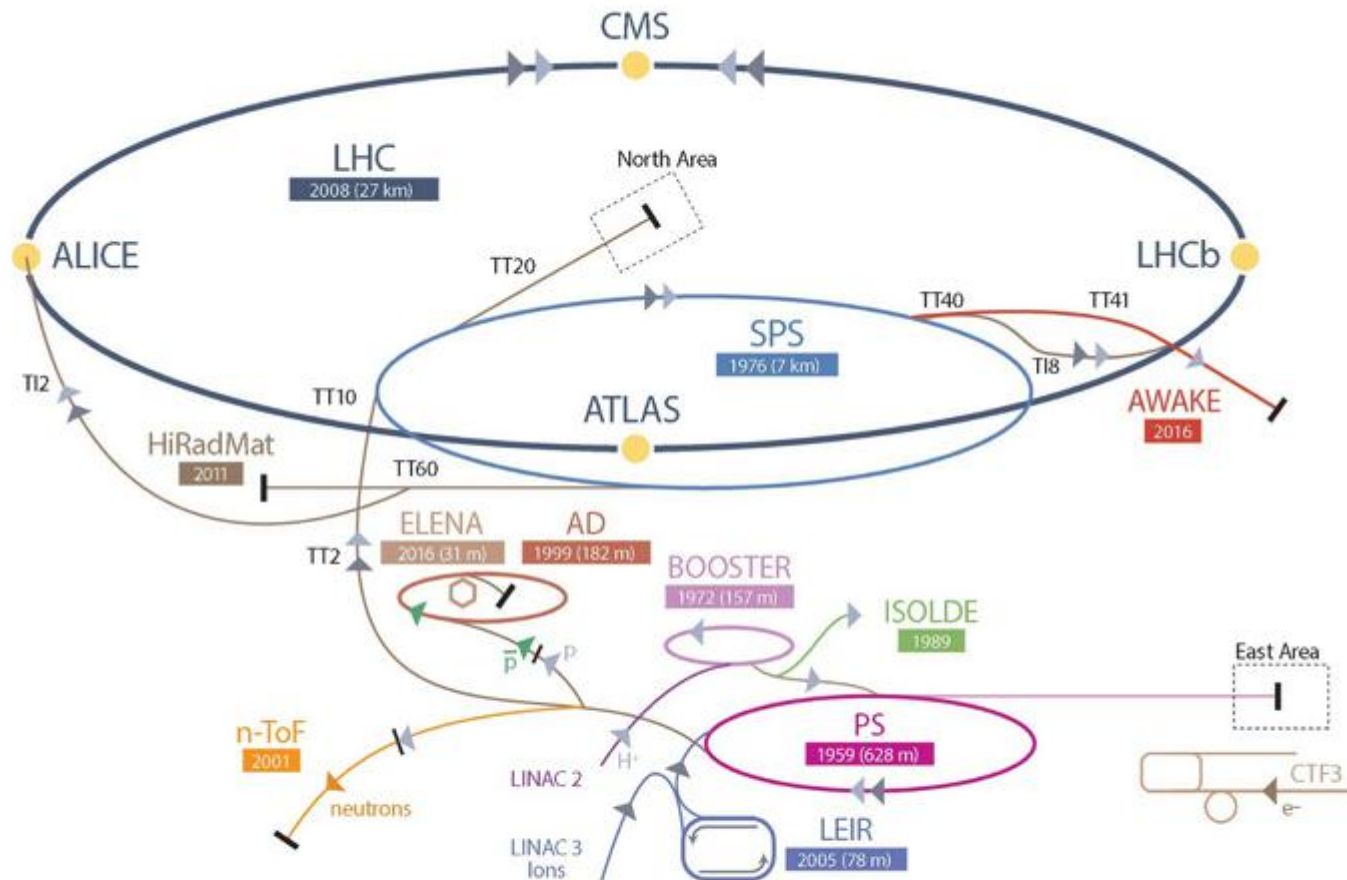
Caractérisation radiologique de 232 bobines du Proton Synchrotron (PS) du CERN pour élimination vers l'ANDRA

B. CELLERIER, D. DALBAN, F. LA TORRE, M. MAGISTRIS, R. MICHAUD, L. ULRICI



European Organization for Nuclear Research

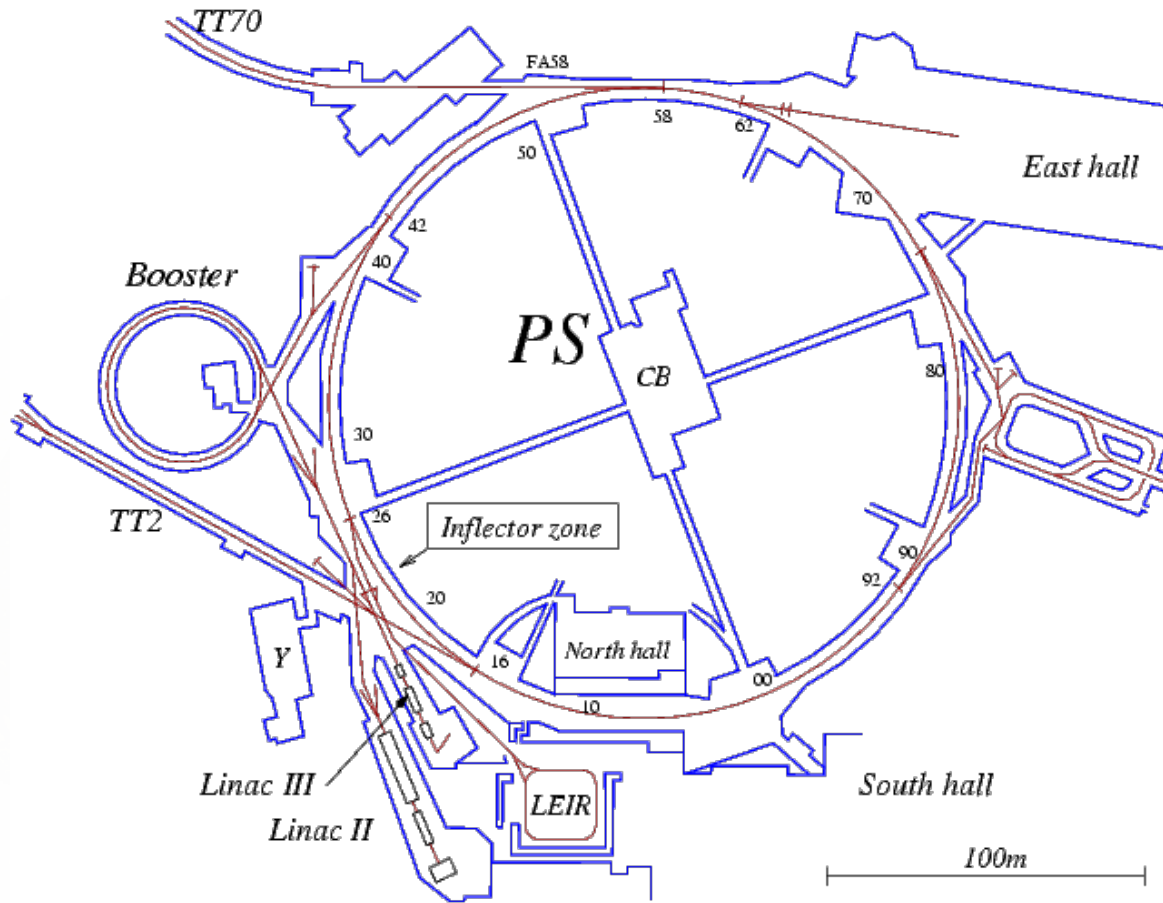
Le complexe d'accélérateurs du CERN



▶ p (proton)
 ▶ ion
 ▶ neutrons
 ▶ \bar{p} (antiproton)
 ▶ electron
 ▶▶▶ proton/antiproton conversion

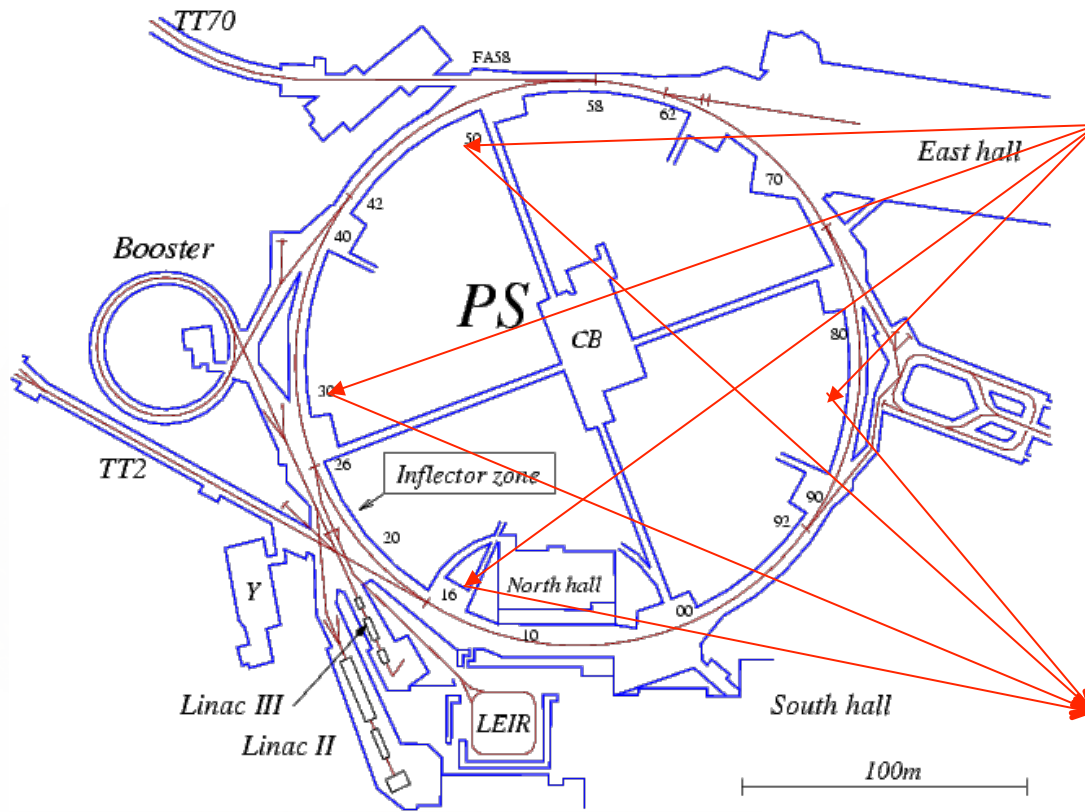


Le synchrotron à protons (PS)



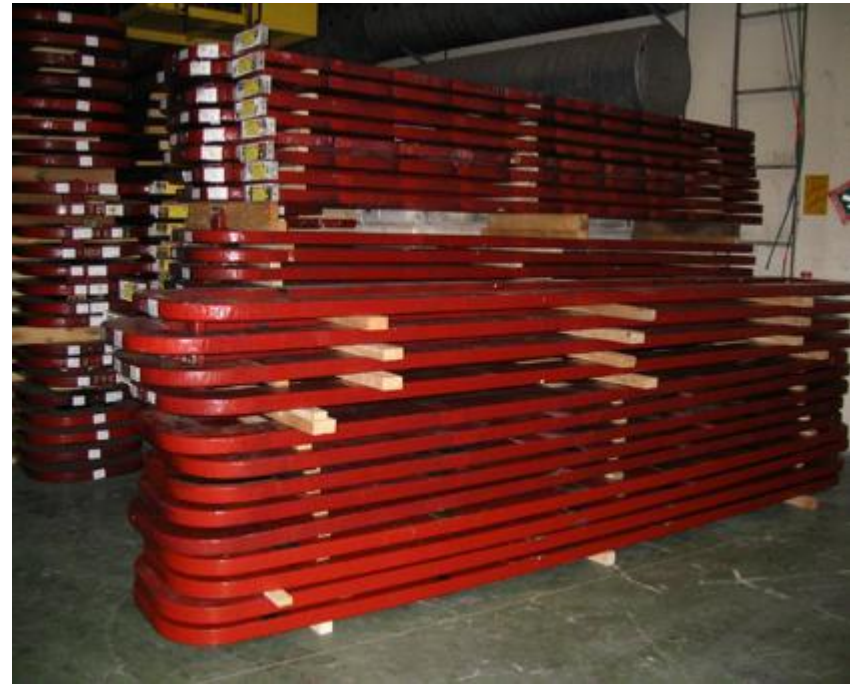
- ▶ premiers protons accélérés:
24 novembre 1959
- ▶ circonférence de 628 mètres
- ▶ 277 électroaimants classiques (fonctionnant à température ambiante)
- ▶ énergie jusqu'à 25 GeV

Le synchrotron à protons (PS)



Bobines du PS

- ▶ 232 bobines en aluminium
- ▶ **Masse:** ~ 310 kg/bobine
- ▶ **Taille:** 483 x 80 x 6.5 cm³ (L x l x e)
- ▶ Nature **chimique:**
 - Aluminium (99.5 %)
 - Thermoplastic Epoxy Insulation (fine couche d'isolant ~4 mm)
- ▶ **Irradiation:** 45 ans (1959 – 2005)
- ▶ Temps de **décroissance:** 10 ans (2005 – 2015)



Caractérisation radiologique

- **Étude approfondie** effectuée sur **12 bobines** représentatives:
 - modélisation de l'activation par des **calculs analytiques** réalisés avec le code ActiWiz
 - élaboration d'un **spectre type** avec validation par spectrométrie gamma
 - étude de la **distribution d'activité** dans les bobines (débit de dose)
 - réalisation et utilisation d'une **fonction de transfert** pour établir l'activité de la pièce à partir de la mesure du débit de dose au point le plus irradiant
- **Caractérisation des 220 bobines** avec 4 mesures du débit de dose à chaque extrémité

Calculs analytiques

Les calculs réalisés avec le code de calcul analytique **Actiwiz**¹
(basé sur des simulations FLUKA Monte Carlo)

► **Trois scénarios d'activation:**

1. Activation par interaction directe du faisceau avec une cible, pour simuler les pertes de faisceau aux extrémités des bobines;
2. Activation dans une pièce massive autour d'une cible, pour simuler la cascade hadronique de particules secondaires à l'intérieur des bobines;
3. Activation d'une pièce à 10 cm de distance d'une cible, pour simuler les interactions des particules secondaires à haute énergie avec les bobines, près de la ligne de faisceau.

► **Profil d'irradiation:** 45 ans d'irradiation suivi par 10 ans de temps de décroissance.

¹H. Vincke, C. Theis, "ActiWiz – optimizing your nuclide inventory at proton accelerators with a computer code", Proceedings of the ICRS12 conference, 2012, Nara, Japan, Progress in Nuclear Science and Technology, Volume 4 pp. 228-232 (2014)

Validation des calculs



Mesure par spectrométrie gamma in situ à l'aide du détecteur HPGe Falcon* collimaté sur le point le plus chaud de chacune des 12 bobines



***Cberra Falcon 5000**, Efficacité relative @ 1332 keV: 25%. Resolution: 1.2 keV (FWHM) @ 12 keV; 2.0 KeV (FWHM) @ 1332 keV

Spectre type “enveloppe”

Spectre type des bobines enveloppe (calculés et mesurés), avec contribution en pourcentage de l'activité totale et IRAS.

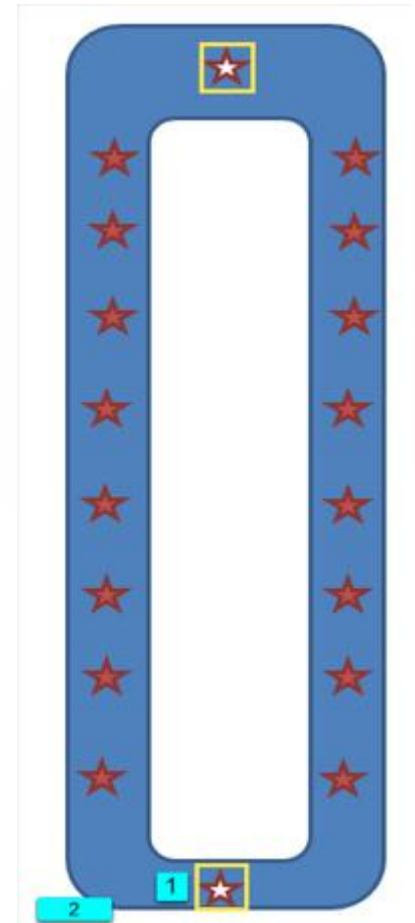
Radio-nucléide	Demi-vie [ans]	Fraction activité total [%]	Classe TFA	Contribution IRAS [%]
Na-22	2.6	4.13	1	69.8
H-3	12.3	95.0	3	16.1
Co-60	5.27	0.62	1	10.6
Ba-133	10.5	0.097	1	1.65
Cs-137	30	0.031	1	0.53
Al-26	7.2E5	0.030	1	0.51
Mn-54	0.856	0.028	1	0.47
Cs-134	2.06	0.018	1	0.31
Ag-108m	418	0.004	1	0.07

Distribution d'activité

- ▶ Mesures de débit de dose sur 20 points répartis de manière homogène sur chacune des 12 bobines
- ▶ Un ratio R entre le débit de dose moyen sur 20 points et le débit de dose maximum a été établi. Ce ratio est égal à 0.21.

$$R = (DdD_{\text{moyen}}/DdD_{\text{max}}) = 0.21 \pm 0.08$$

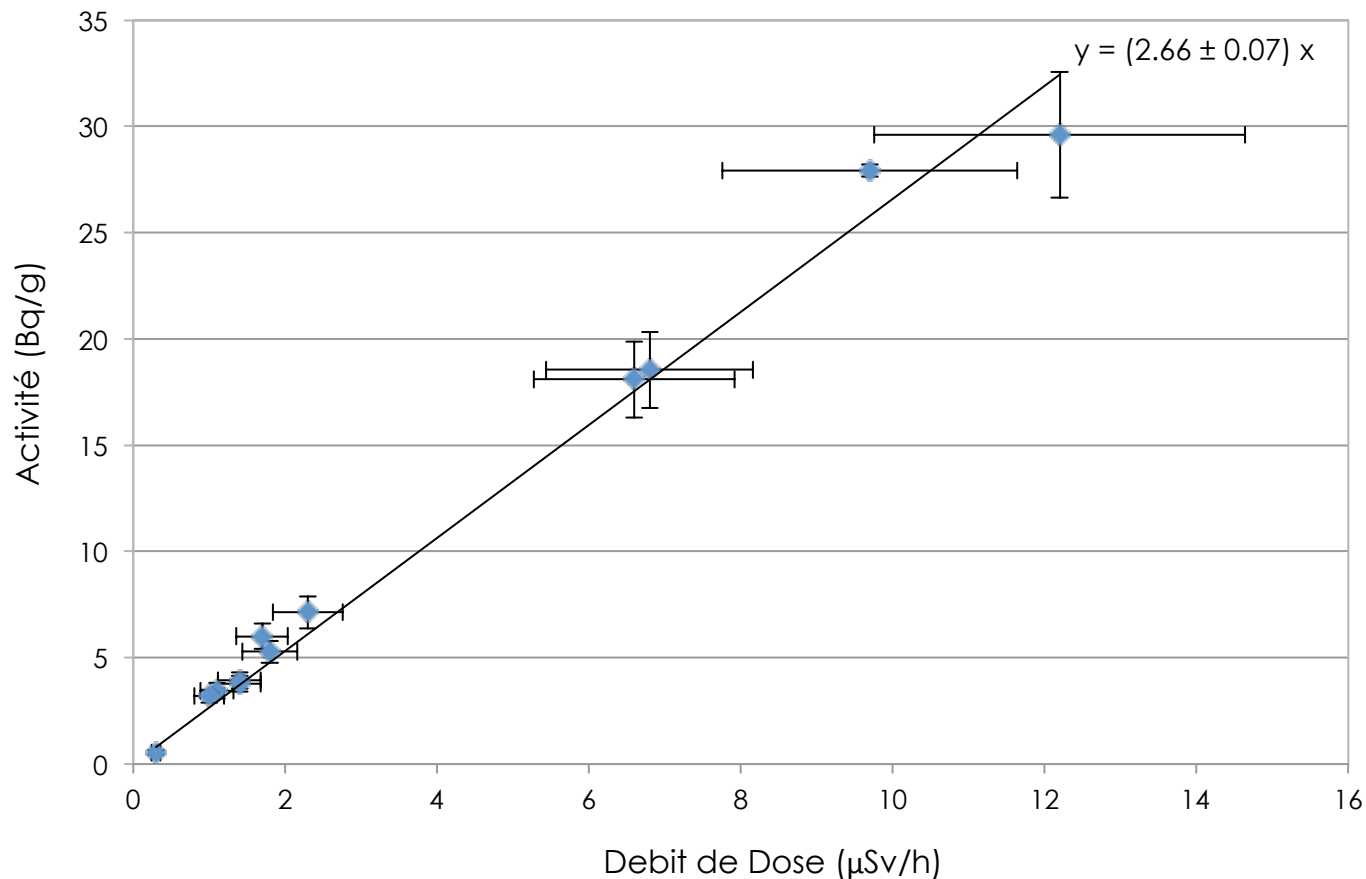
- ▶ Toutes les mesures de débit de dose ont été réalisées à l'aide du débitmètre Automess 6150AD-6



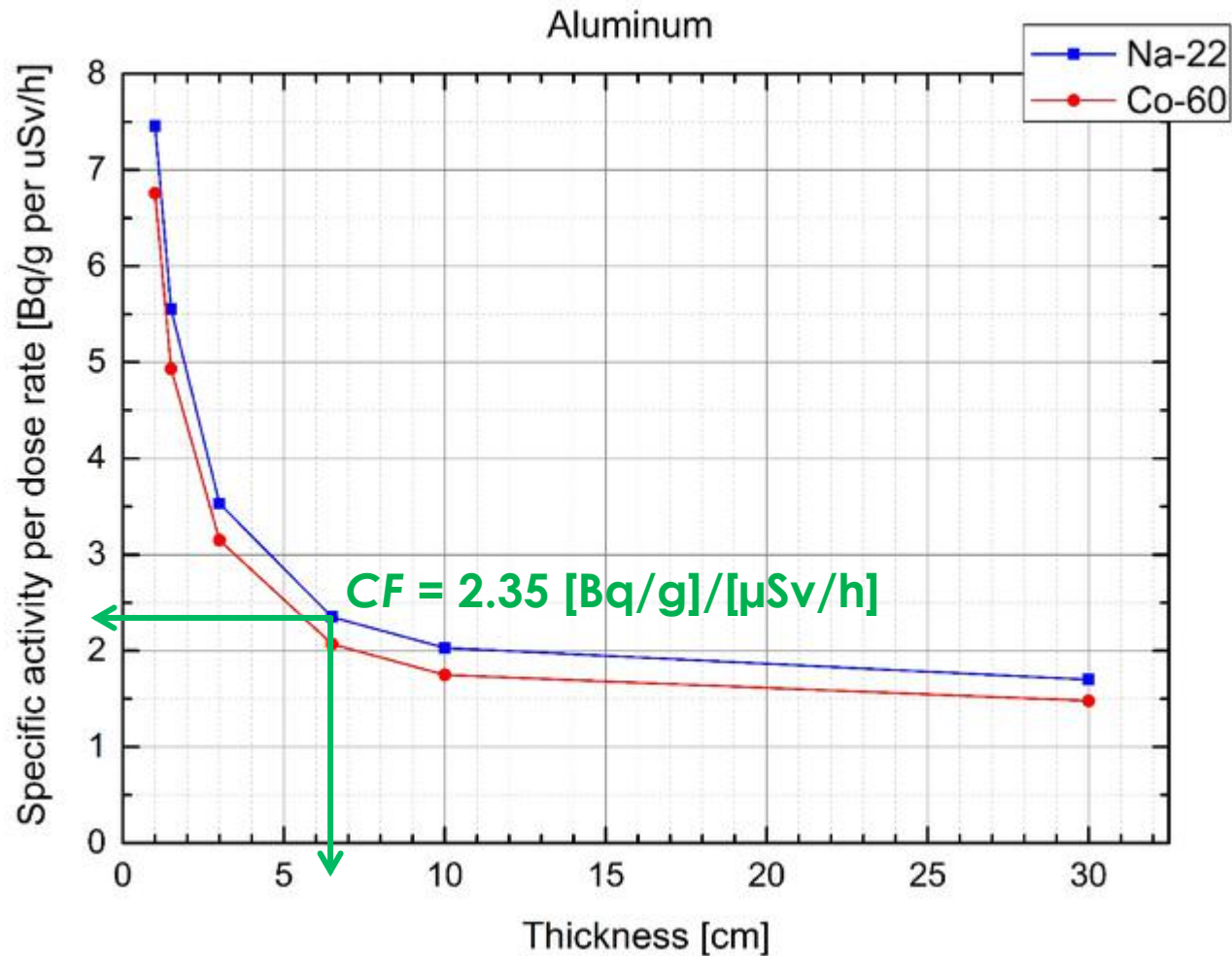
Fonction de transfert (bobines)

Une fonction de transfert CF a été établie grâce aux mesures de débit de dose et de spectrométrie gamma au point chaud:

$$CF = (2.66 \pm 0.07) \text{ [Bq/g]/}[\mu\text{Sv/h}]$$



Fonction de transfert (Fluka)



Evaluation de l'activité

$$A_{Na-22} = CF * DR_{HotSpot} * R$$

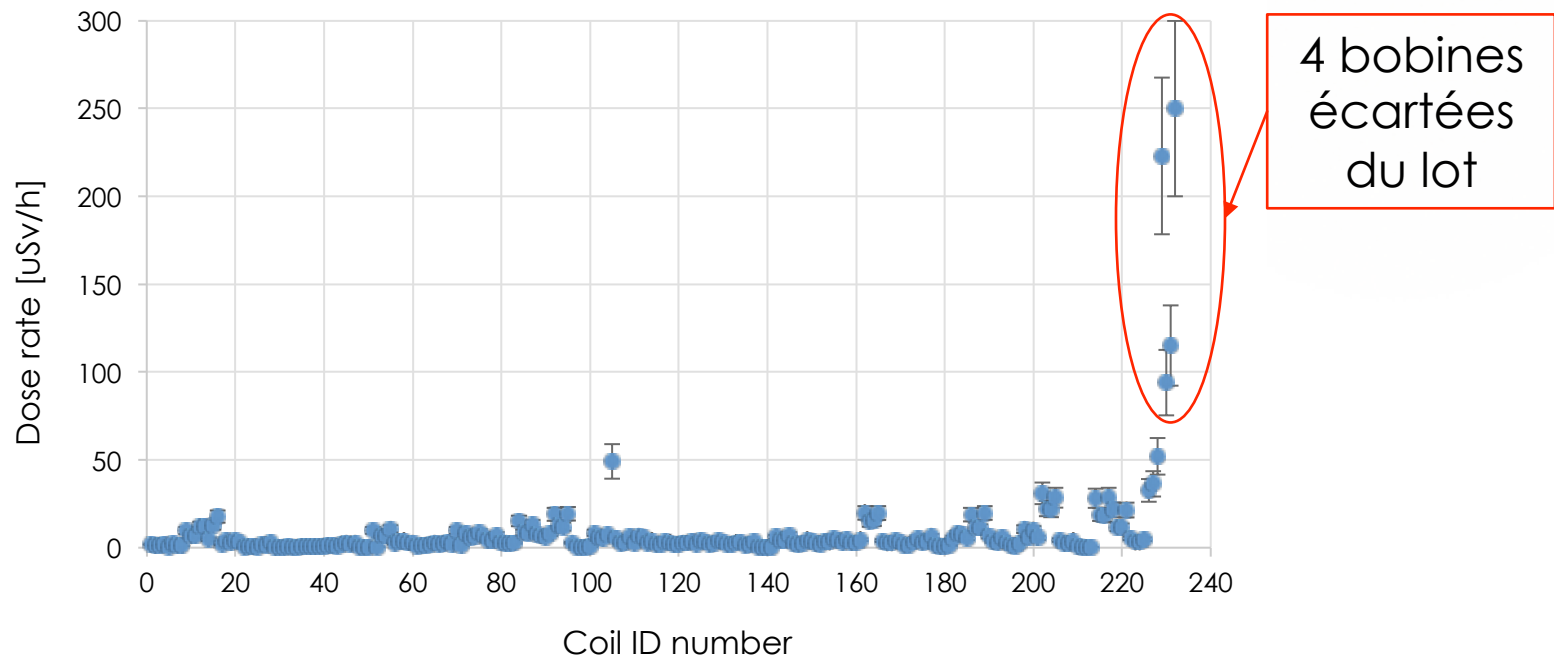
- ▶ A_{Na-22} = l'activité moyenne du traceur gamma
- ▶ $CF = 2.66$ [Bq/g]/[μ Sv/h] (fonction de transfert)
- ▶ $DR_{HotSpot}$ = débit de dose du point chaud
- ▶ $R = 0.21$ (ratio entre le débit de dose moyen et le débit de dose maximum d'une bobine)
- ▶ Grâce à cette formule et au spectre type nous avons établi une relation entre débit de dose (point chaud) et l'IRAS:

$$IRAS=1 \rightarrow DR_{HotSpot} = 12.4 \mu Sv/h$$



Caractérisation des bobines

- ▶ Mesures du **débit de dose au contact** à chaque extrémité (points chauds)
- ▶ **Tri radiologique** des bobines selon leur débit de dose



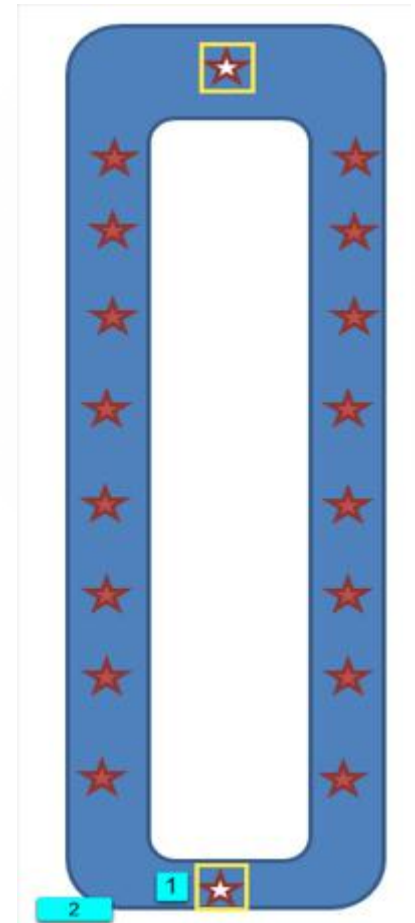
Bobines avec IRAS > 10

Bobines	Activité (Bq/g)	Debit de Dose (μSV/h)	IRAS
AF229	521	223	27
AF230	347	94	12
AF231	411	115	15
AF232	683	250	32

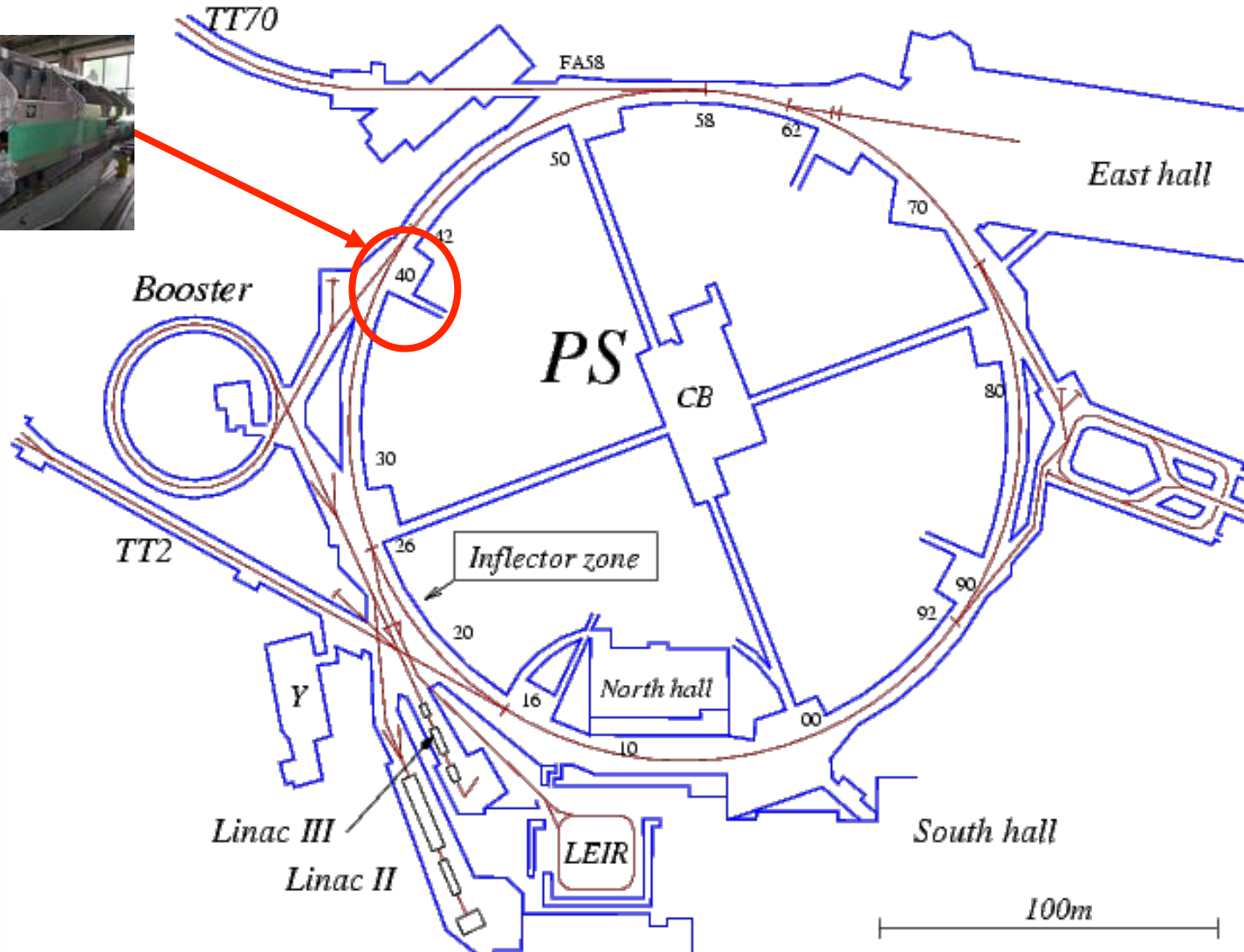
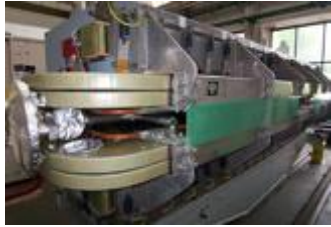
$$R_{228} = \text{Ratio}(DdD_{\text{moyen}}/DdD_{\text{max}}) = 0.21$$

$$R_4 = \text{Ratio}(DdD_{\text{moyen}}/DdD_{\text{max}}) = 0.44$$

Profils d'irradiation différents



Bobines avec IRAS > 10



Traitement et mesures des bobines

- ▶ **Traçabilité** avec un code-barres enregistré dans le système de suivi TREC du CERN
- ▶ Mesure de la **contamination** surfacique par frottis standards (100 cm²)
- ▶ **Démantèlement** des connecteurs (2 par bobine)
- ▶ **Test d'hygrométrie** (contrôle de la vidange) : air comprimé ultra sec injecté sur un des deux point de sortie de la bobine
- ▶ Constitution des **fagots** (7 bobines/fagot)
- ▶ Mesure du **débit de dose** sur l'ensemble des fagots constitués
- ▶ **Assurance qualité**: mesure par spectrométrie gamma in situ sur les 4 fagots présentant l'IRAS le plus élevé

Bobines conditionnées et prêtes pour envoi vers l'ANDRA



Envoi des fagots

228 bobines (33 fagots) ont été expédiées, acceptées et stockées par l'ANDRA pendant la période Juillet - Septembre 2016





Merci pour
votre attention