

Séminaire RP du réseau Grand-Ouest

Vérification de l'étalonnage de radiamètres sans source radioactive

Arnaud Chapon (achapon@cerap.fr)

CERAP – Conseils et Etudes en RAdioProtection

13 octobre 2016



Contrôle périodique de l'étalonnage

Arrêté du 21 mai 2010

Arrêté du 21 mai 2010:

- le **contrôle périodique de l'étalonnage** consiste à mesurer les **grandeurs caractéristiques** de l'instrument de mesure qui sont fournies par son **certificat d'étalonnage**.
- pour les instruments de mesure sans contrôle permanent de bon fonctionnement, la périodicité du contrôle périodique de l'étalonnage est **triennale**.



Contrôle périodique de l'étalonnage

Arrêté du 21 mai 2010

- **Etalon de mesure**

⇒ source radioactive (^{137}Cs).

- **Avantages :**

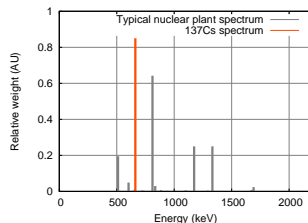
- ▶ Méthode éprouvée,
- ▶ Méthode de référence (ISO-4037).

- **Inconvénients :**

- ▶ Risque d'une exposition accidentelle,
- ▶ Faible productivité,
- ▶ Gamme en énergie limitée.



Exemple d'irradiateur (CEA)



Contrôle périodique de l'étalonnage

Arrêté du 21 mai 2010

Objectif de CERAP:

S'affranchir de sources radioactives pour le contrôle périodique de l'étalonnage de radiamètres.

CERAP – Conseil et Etudes en RAdioProtection:

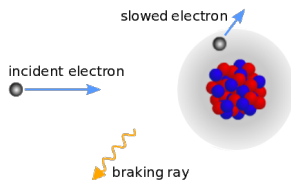
- Acteur majeur de la **radioprotection** en France,
- Date de création: 1988,
- Effectif: ~500 collaborateurs,
- 3 centres de gestion: Cherbourg-en-Cotentin, Saclay, Bagnols-sur-Cèze,
- 2 filiales: Advance engineering, SEFC.

- 1 Comment se passer d'une source radioactive?
- 2 Mise en oeuvre du procédé
- 3 Outils de modélisation/simulation

Comment se passer d'une source radioactive?

Méthode innovante proposée par CERAP

- **Etalon de mesure**
⇒ rayonnement de freinage



Comment se passer d'une source radioactive?

Méthode innovante proposée par CERAP

- **Etalon de mesure**

⇒ rayonnement de freinage

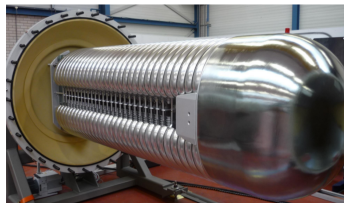
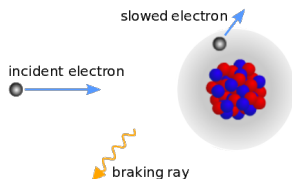
- **Accélérateur d'électrons:**

- ▶ Electrostatique,
- ▶ Energie ajustable de 0.1 à 3.5 MeV,
- ▶ Faisceau de quelques pA à 1 mA (600 μ A au-delà de 2 MeV).

- **Dipôle:**

- ▶ Déviation du faisceau,
- ▶ Filtration en énergie.

- **Cible de conversion amovible.**



Singletron HVVEE

Comment se passer d'une source radioactive?

Méthode innovante proposée par CERAP

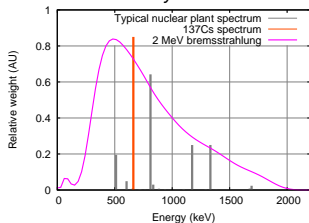
● Avantages:

- ▶ Large gamme en énergie,
- ▶ Débit de dose \propto intensité du faisceau,
- ▶ Pas de source radioactive.

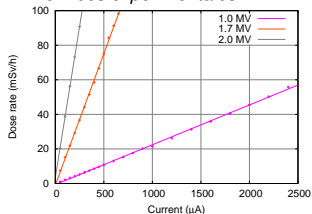
● Mise en oeuvre du procédé:

- ▶ Contrôle de l'accélérateur:
 - ★ stabilité/reproductibilité.
- ▶ Caractérisation du champ d'irradiation:
 - ★ calibration absolue (K_{air}),
 - ★ homogénéité.
- ▶ Automatisation du procédé:
 - ★ fiabilisation,
 - ★ productivité.

Simulation Bayeux/Geant4

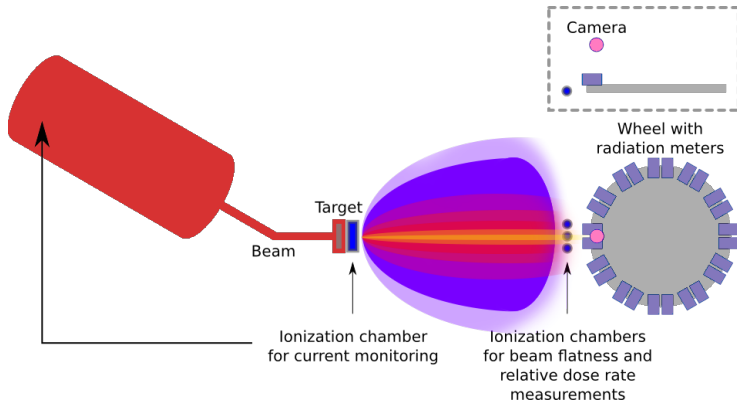


Données expérimentales – IBA



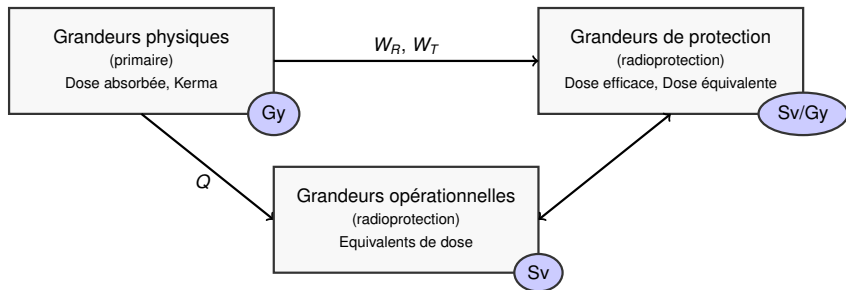
Mise en oeuvre du procédé

Problématique



Mise en oeuvre du procédé

Calibration absolue du champ d'irradiation



Mise en oeuvre du procédé

Calibration absolue du champ d'irradiation


Besoin d'une mesure absolue d'une grandeur physique:

- Comparaison à une source primaire \Rightarrow CEA/LNHB¹,
- Le kerma dans l'air (K_{air}).

Le **kerma** (Gy ou J/kg) est l'énergie cinétique **transférée** aux particules chargées:

$$K = K_C + K_R$$

- K_C : kerma collision
A l'équilibre électronique (compensation de l'énergie des particules chargées qui quittent et qui entrent dans le volume): $D = K_C$
- K_R : kerma rayonnement
Contribution du rayonnement de freinage

¹Laboratoire national de métrologie dans le domaine des rayonnements ionisants 

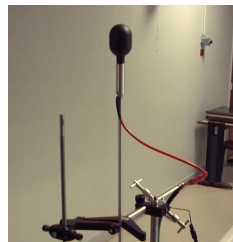
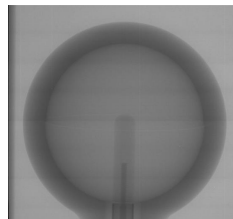
Mise en oeuvre du procédé

Calibration absolue du champ d'irradiation

- Passage de K_{air} vers H :

$$h_K = \frac{H/\phi}{K_{air}/\phi}$$

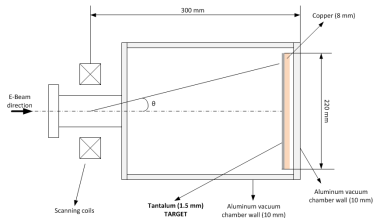
- Mesure absolue de K_{air} :
 - ▶ Comparaison à la référence nationale.
- Etalonnage d'une chambre de transfert:
 - ▶ Mesure de $H^*(10)$ et incertitude associée.
- Vérification de l'étalonnage de radiamètres:
 - ▶ Comparaison de l'indication du radiamètre à l'indication de la chambre de transfert.



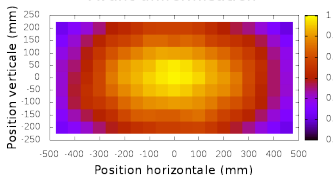
Mise en oeuvre du procédé

Uniformisation du champ d'irradiation

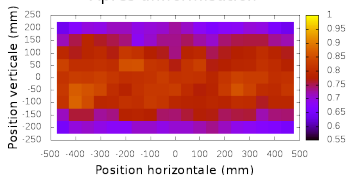
- Balayage de la cible $\theta(t)$:



Avant uniformisation



Après uniformisation

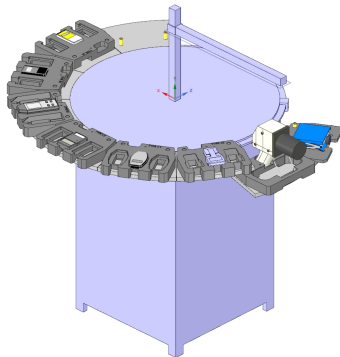
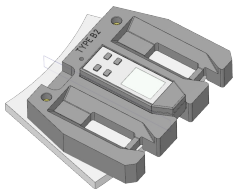


Mise en oeuvre du procédé

Automatisation du procédé

● Définition de séquences d'irradiation:

- ▶ Positionnement des radiamètres,
- ▶ Champ d'irradiation:
 - ★ énergie et courant du faisceau,
 - ★ balayage.
- ▶ Mesures du débit de dose:
 - ★ chambre d'ionisation de référence,
 - ★ radiamètre.
- ▶ Rotation du passeur.



Outils de modélisation/simulation

Bayeux/GEANT4 & MCNP-X

Deux codes Monte-Carlo:

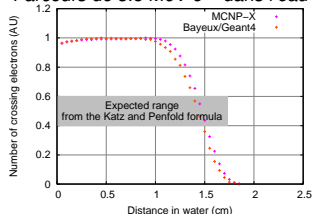
- Bayeux/GEANT4

- ▶ Code open-source, C++
- ▶ Fichiers de configuration ASCII
- ▶ Code GEANT4 ⇒ détecteurs (CERN)

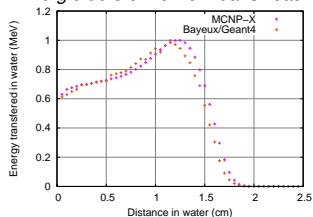
- MCNP-X

- ▶ Code propriétaire, fortran90
- ▶ Outils statistiques d'optimisation (réduction de variance)
- ▶ Référence en radioprotection

Parcours de 3.5 MeV e⁻ dans l'eau



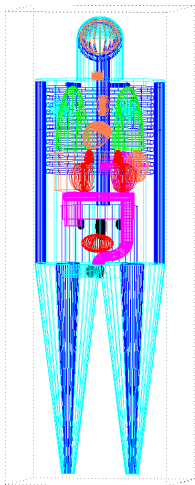
Energie de 3.5 MeV e⁻ dans l'eau



Outils de modélisation/simulation

Bayeux/GEANT4 en action

Exemple de géométrie complexe:



```
[name="brain" type="geomtools::ellipsoid"]
x_radius : real as length = 60.0 mm
y_radius : real as length = 90.0 mm
z_radius : real as length = 65.0 mm
```

```
[name="brain.model" type="geomtools::simple_shaped_model"]
shape_build_mode : string = "factory"
shape_ref        : string = "brain"
material.ref     : string = "soft_tissue"
visibility.color  : string = "orange"
```

```
[name="head.model" type="geomtools::simple_shaped_model"]
internal_item.labels : string[4] = "skull" "brain" "thyroid" "upper_spine"

internal_item.model.brain      : string = "brain.model"
internal_item.placement.brain : string = "0 0 85.0 (mm)"
```

Conclusion

Méthode innovante mise en oeuvre par CERAP

- Preuve de faisabilité:
 - ▶ Contrôle de l'accélérateur:
 - ★ stabilité/reproductibilité.
 - ▶ Caractérisation du champ d'irradiation:
 - ★ calibration absolue (K_{air}),
 - ★ homogénéité.
 - ▶ Automatisation du procédé:
 - ★ fiabilisation,
 - ★ productivité.
- Procédé fiable,
- Spectre en énergie couvrant toute la gamme des radiamètres,
- Absence de source radioactive:
 - ▶ Sécurité accrue pour les opérateurs et l'environnement.
- + Autres applications possibles...

Construction du bâtiment initiée, à Cherbourg-en-Cotentin
Fabrication de l'accélérateur et ligne de faisceau en cours
Installation opérationnelle début 2018

Conclusion

Méthode innovante mise en oeuvre par CERAP



Merci pour votre attention!

Annexes

Etalonnage

Etalonnage (définition du VIM 3):

Opération qui, dans des conditions spécifiées, établit dans une **première étape** une relation entre **les valeurs et les incertitudes** de mesure associées qui sont fournies par des **étalons** et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise dans une **seconde étape** cette information pour établir une **relation** permettant d'obtenir un **résultat de mesure** à partir d'une **indication**.

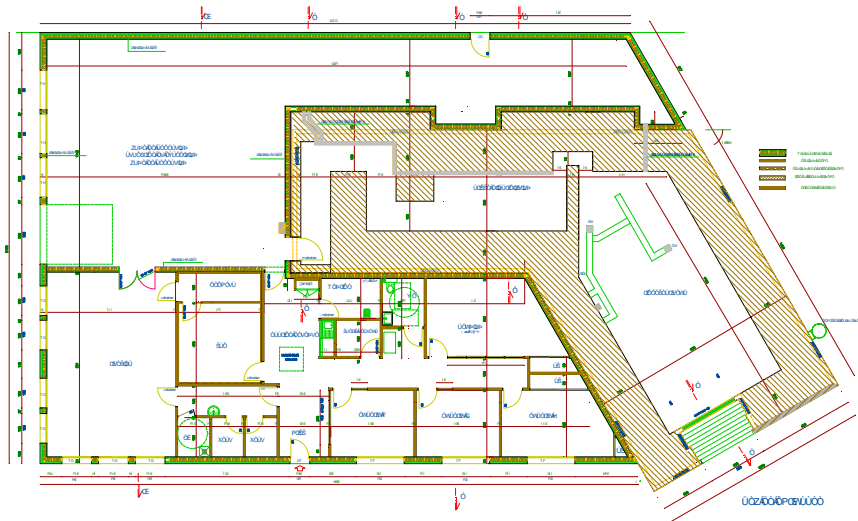
Annexes

Zonage radiologique

- NF M62-105: installations d'accélérateurs industriels:
 - ▶ Modalités d'accès aux installations,
 - ▶ Alarmes visuelles et sonores, tri-secteur,
 - ▶ Dimensionnement des protections biologiques.
- Objectifs CERAP: ZNR $\Rightarrow < 0.5 \mu\text{Sv/h}$

	Zone réglementée			Zone spécialement réglementée		
	Zone non réglementée	Zone surveillée	Zone contrôlée	Zone contrôlée jaune	Zone contrôlée orange	Zone contrôlée rouge
Dose équivalente aux extrémités (H_T)		0.2 mSv (1h)	0.65 mSv (1h)	50 mSv (1h)	2.5 Sv (1h)	
Dose efficace (E_T)	80 μSv (1 mois)	7.5 μSv (1h)	25 μSv (1h)	2 mSv (1h)	100 mSv (1h)	

Annexes



Annexes

Calibration absolue du champ d'irradiation

Grandeurs physiques/primaires:

- Etablissement et comparaison des références nationales,
- Toutes les autres catégories de grandeurs doivent leurs être "traçables" (par le calcul et/ou l'étalonnage).

Grandeurs de protection:

- Quantification du risque d'effets stochastiques de l'exposition aux RI,
- Etablissement des limites d'expositions des travailleurs et du public,
- Vérification leur respect dans le cadre de la radioprotection,
- Définies par la CIPR: $E = H_T \cdot W_T = D_{T,R} \cdot W_R \cdot W_T$.

Grandeurs opérationnelles:

- Mesure de l'exposition des travailleurs et du public aux RI,
- Développées par l'ICRU: $H = D \cdot Q$.

Annexes

Calibration absolue du champ d'irradiation

$$K = \sum_0^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z}$$

$$K_C = \sum_0^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$$

Avec:

- $\phi(E)$, la fluence de particule neutre,
- E , l'énergie des particules neutres,
- $(\mu_{tr}/\rho)_{E,Z}$, le **coefficient de transfert** massique en énergie pour une énergie E et un numéro atomique Z
- $(\mu_{en}/\rho)_{E,Z}$, le **coefficient d'absorption** massique en énergie pour une énergie E et un numéro atomique Z

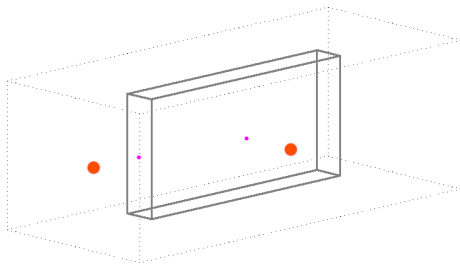
Annexes

Logiciels de radioprotection

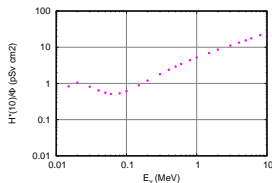
Mesure de la fluence:

- Sur la grande face:
 - ▶ A1 à 1 cm
 - ▶ A2 à 1 m

- Sur la petite face:
 - ▶ B1 à 1 cm
 - ▶ B2 à 1 m



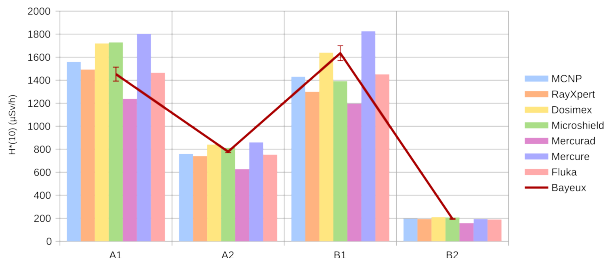
Calcul de $H^*(10)$ à partir de la CIPR publication 74²:



²ICRP, 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).

Annexes

Logiciels de radioprotection



% (Bayeux)	A1	A2	B1	B2
MCNP	1.80	2.09	6.19	2.82
RayXpert	10.70	5.22	5.82	1.32
Dosimex	8.74	10.38	7.49	6.58
Microshield	9.42	6.82	20.37	8.83
Mercurad	9.25	7.79	12.19	11.44
Mercure	16.77	13.54	16.65	15.58
Fluka	22.80	16.48	24.60	28.70
Narmer	18.25	17.07	18.89	19.69

● Monte-Carlo:

- ▶ Bayeux
- ▶ MCNP
- ▶ RayXpert
- ▶ Fluka

● Sur-estimation:

- ▶ Dosimex
- ▶ Mercure

● Sous-estimation:

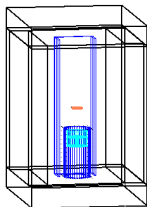
- ▶ Mercurad
- ▶ Fluka
- ▶ Narmer

Annexes

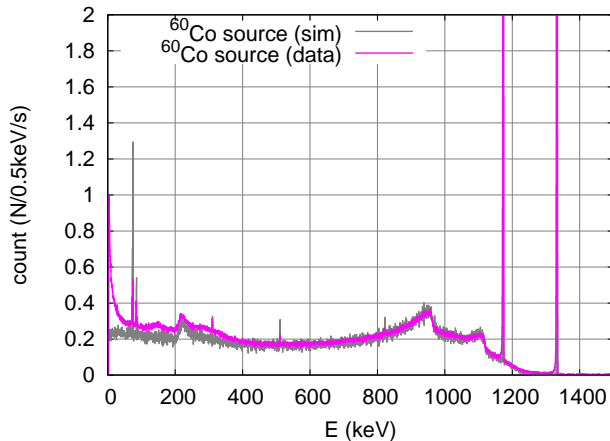
Logiciels de radioprotection



Système expérimental



Modélisation Bayeux



Annexes

Autres applications possibles

Industrie	Applications	Actions	Résultats
Aérospatial	Composants électroniques	Tests sous irradiation	Fiabilité des composants Mesure de défauts
Energie	Semi-conducteurs	Dopage	Amélioration des performances
Santé	Prothèses, matériels médicaux	Stérilisation	Respect des normes sanitaires
	Radio-biologie	Irradiations cellulaires	Nouveaux traitements anti-cancer
Matériaux	Polymères Films minces	Réticulation, greffage Traitement de surface	R&D nouveaux matériaux
	Câbles, tubes	Ignigugation	Amélioration de la tenue au feu
Nucléaire	Radioprotection	Tests de vieillissement	Qualification de protections biologiques
	Mesures	Raccordement source primaire	Développement de détecteurs, Étalonnage
Formation	Etudiants Formation professionnelle	Visite de site	Dimensionnement de protections biologiques Ventilation nucléaire, Portage d'autorisations ASN