

Etablissement de la nouvelle référence dosimétrique française pour l'irradiation industrielle

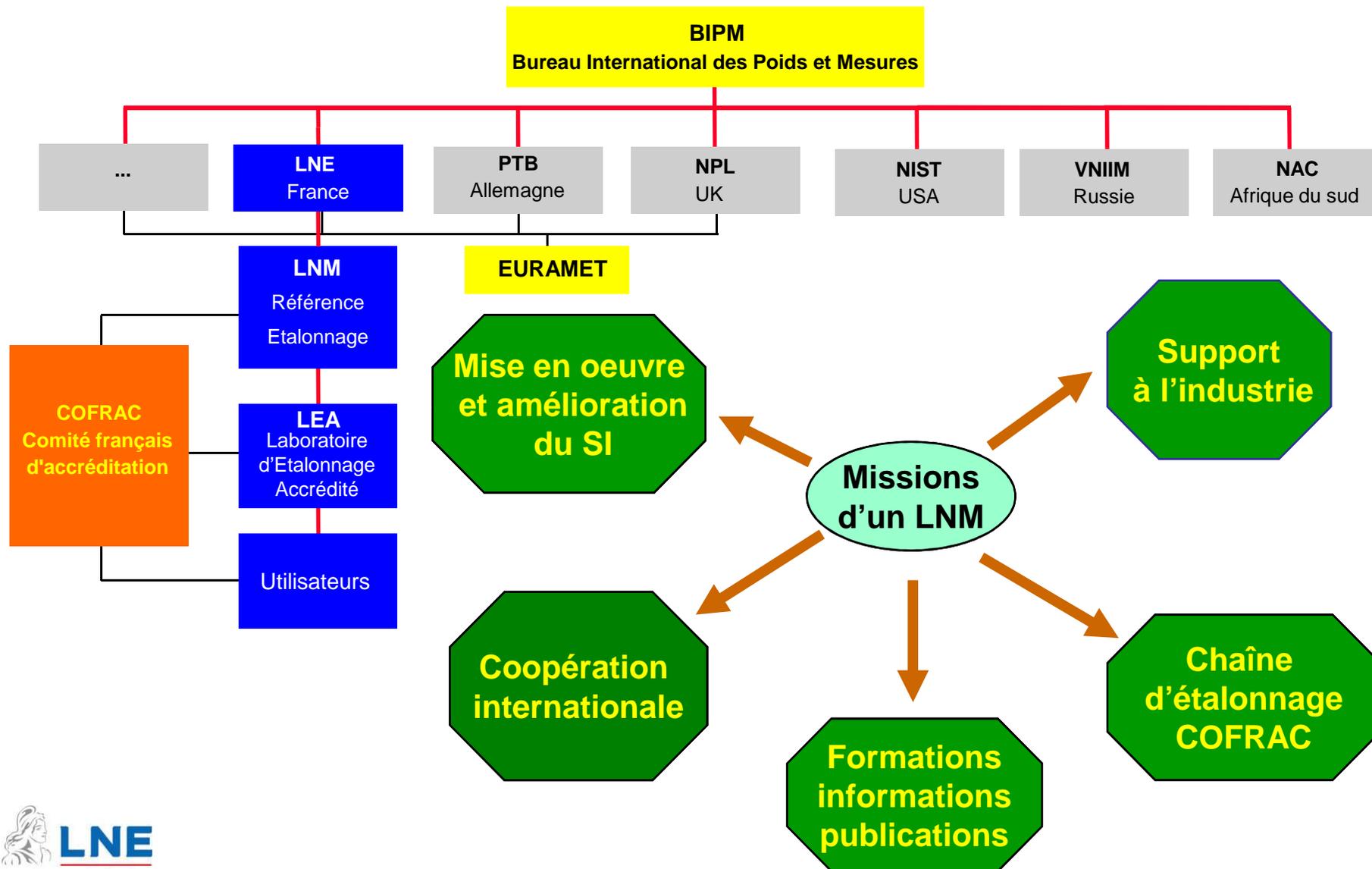
Valérie LOURENÇO, Tristan GARCIA

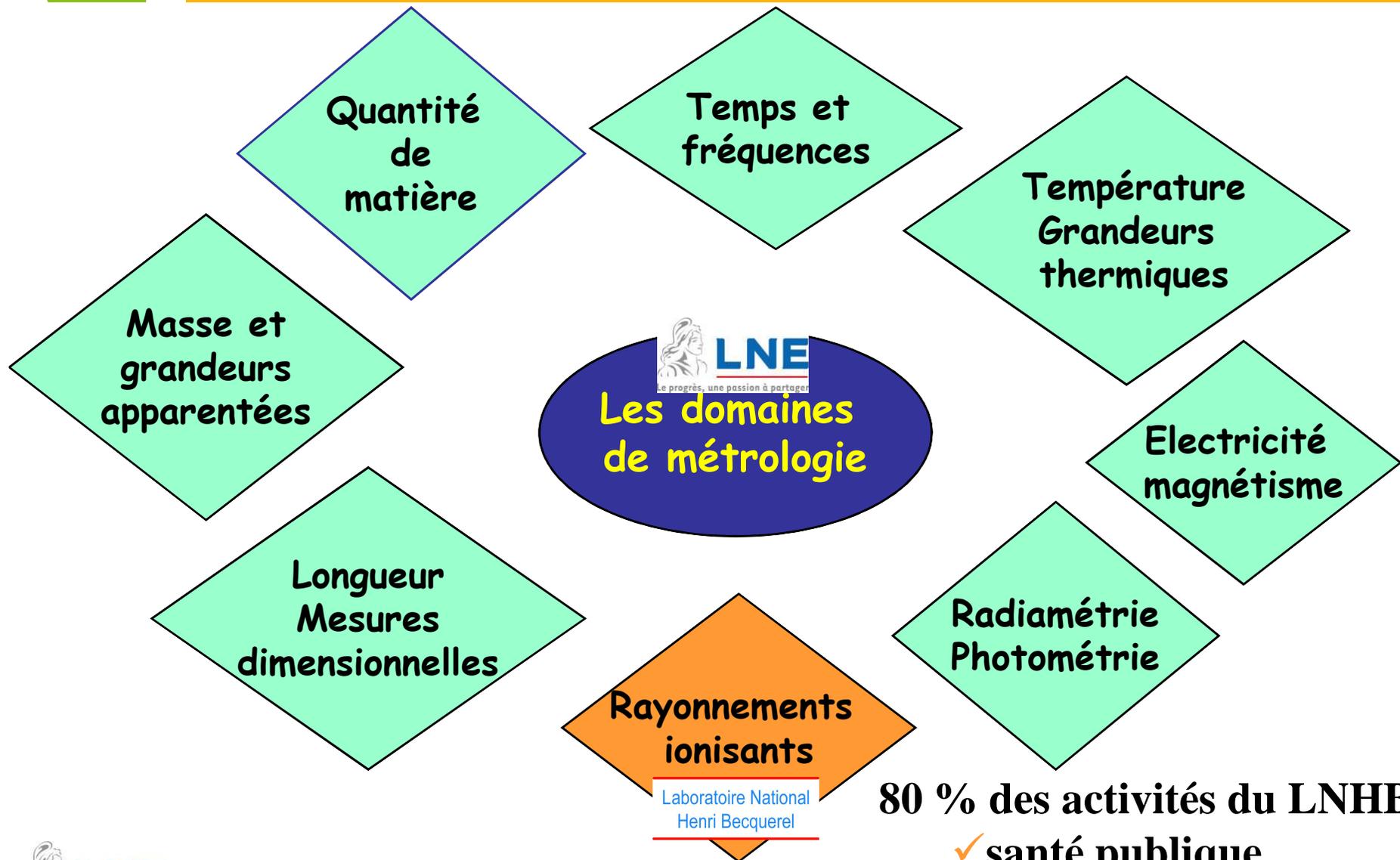
Laboratoire National Henri Becquerel

CEA – Saclay

Bât. 534 PC 104

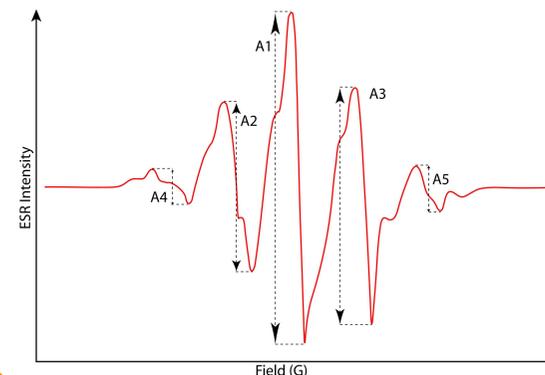
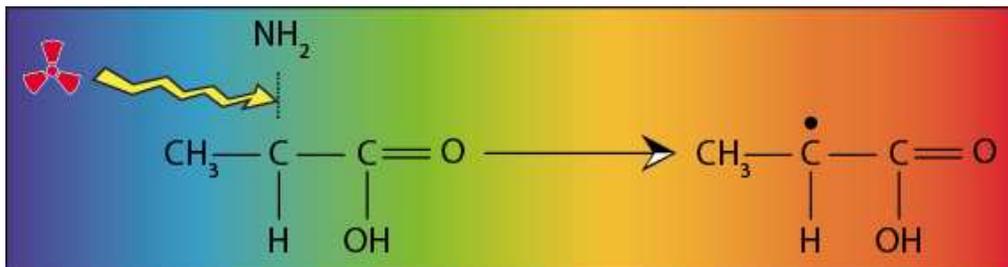
F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex





80 % des activités du LNHB

- ✓ santé publique
- ✓ médical



- Rendement de production de radicaux élevé
- Sensibilité sur un **large domaine de dose**
- Signal RPE stable et exploitable

Bon dosimètre

- Avantages pour la **dosimétrie** des RI
 - Mesures à l'état solide
 - Dosimètre « ponctuel »
 - Dosimètre passif (intégration)
 - Dosimètre indépendant du débit de dose, de l'énergie
 - Mesures non destructives

➤ **Mesure de la dose absorbée**

➤ Mesures par Résonance Paramagnétique Electronique (RPE)



Spectromètre RPE Elexsys (Bruker)

- ❑ Cavité HS & pont hyperfréquence (bande X, ~ 10 GHz)
- ❑ Goniomètre

Dosimètre

- ❑ Conteneur
 -  quilibre électronique
 -  tanch it 
- ❑ 4 comprimés d'alanine



- **Applications industrielles : fortes doses** (100 à 10⁵ Gy)
 - ✓ **Agroalimentaire** : hygiénisation/stérilisation
 - ✓ **Produits à usage unique** : stérilisation (prothèses, gants, seringues,...)
 - ✓ **Médicaments** : stérilisation (issus des biotechnologies ou thermosensibles)
 - ✓ **Matériaux** : tenue à l'irradiation, vieillissement

- **Stérilisation des produits sanguins : doses intermédiaires** (10 à 100 Gy)

- **Applications « santé » : faibles doses** (1 à 10 Gy)
 - **Radiothérapie (petits champs)**
 - ✓ **Tomothérapie/IMRT** : besoins émergents

➤ **Spécificité :**

- ✓ Dose s'exprime en Gray
- ✓ Variété des milieux et des rayonnements

➤ **Étalon non matérialisé :** Réalisation d'un étalon unique de dose absorbée impossible

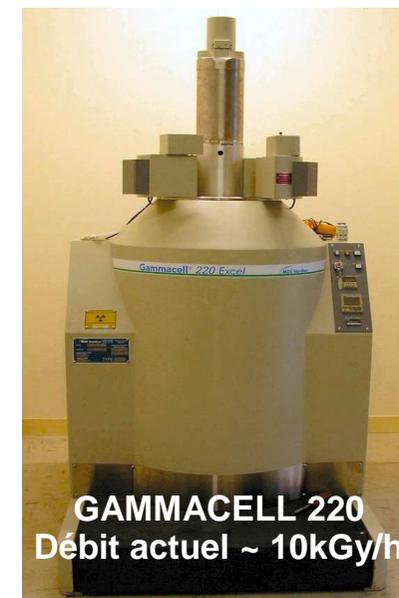
➤ **Référence dans le domaine des RI :**

- ✓ Un faisceau + une méthode de mesure

➤ **Référence fortes doses :**

- ✓ Irradiateur Fortes Doses + RPE/Alanine
- ✓ Raccordement de l'irradiateur à un faisceau de référence du laboratoire

$$Gy = \frac{J}{kg}$$



➤ Mesures quantitatives

$$S_{RPE} = (S_{brut} - S_{BdF}) \times \underbrace{k_{d\acute{e}rive}}_{\text{appareil}} \times \underbrace{k_m \times k_{T_{mes}} \times k_{pos}}_{\text{m\acute{e}thode}} \times \underbrace{k_{T_{irr}}}_{\text{irrad.}} \times \underbrace{k_{fading}}_{\text{dosim\`{e}tre}}$$

➤ Optimisations

- ✓ Suivi des paramètres de l'irradiation
- ✓ Etablissement du protocole de mesure RPE → facteurs correctifs

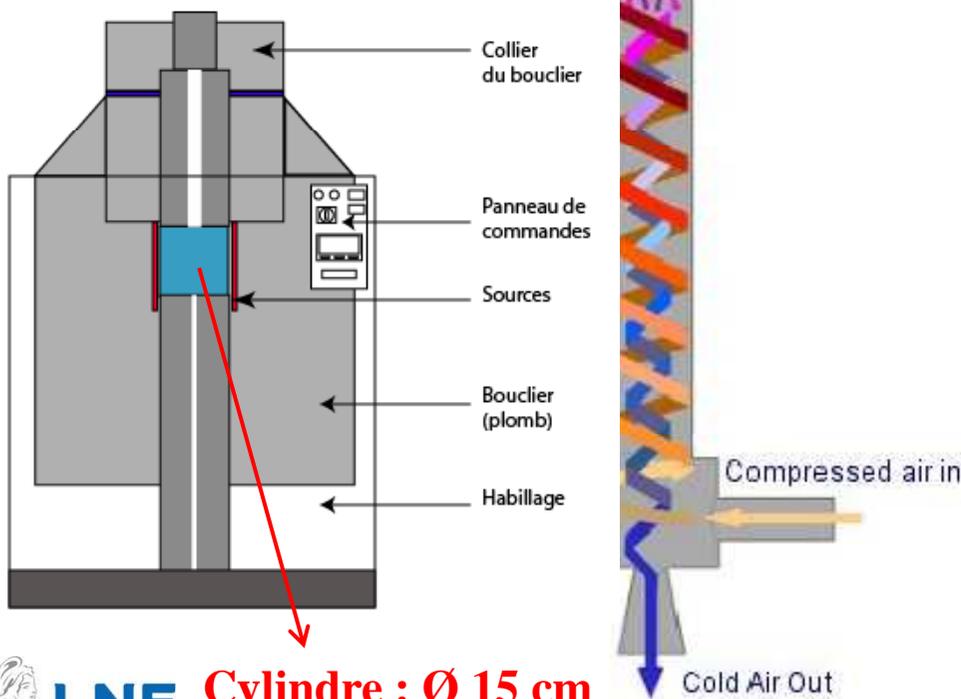
➤ Mesures

- ✓ 1- Réponse du dosimètre Alanine (faisceau de référence) : coef. d'étalonnage
- ✓ 2- Mesure du débit de dose de l'irradiateur fortes doses
- ✓ 3- Courbe de référence fortes doses

➤ Bilan des incertitudes associées

- **Suivi des paramètres de l'irradiation : GammaSoft (logiciel « maison »)**
 - ✓ Commandes de l'irradiateur déportées (Radioprotection)
 - ✓ Régulation et suivi de la T° irradi (tube « Vortex » + électrovanne)
 - ✓ Mesure précise du temps d'irradiation (Horloge GPS)

GammaCell 220 en position d'irradiation



**Cylindre : Ø 15 cm
20 cm de hauteur**

GAMMASOFT v.2.0
Dernière mise à jour 16 mars 2009

MISE EN TEMPERATURE DE LA CHAMBRE

Consigne: 18.9, T°min: 18.9, T°max: 19, Température corrigée de la chambre: 18.96

Mise en température effectuée

DONNEES D'IRRADIATION

Nom de l'échantillon: HG0802-D6, Temps d'irradiation souhaité (s): 293

POSITION: DOWN, UP

Temps Montée (End --> Up): 9,999
Temps descente (Start--> Down): 9,832
Temps de transition: 19,83

Moment du Start (Up) (1s d'avance): 13:35:03.164, 19/03/2009
Moment du Start (Down): 13:35:13.993, 19/03/2009
Moment du début de remontée (end): 13:40:07.195, 19/03/2009
Moment du UP: 13:40:17.195, 19/03/2009

Temps d'irradiation PC (pour info): 293,201
Temps horloge 10MHz (s): 293.6503805

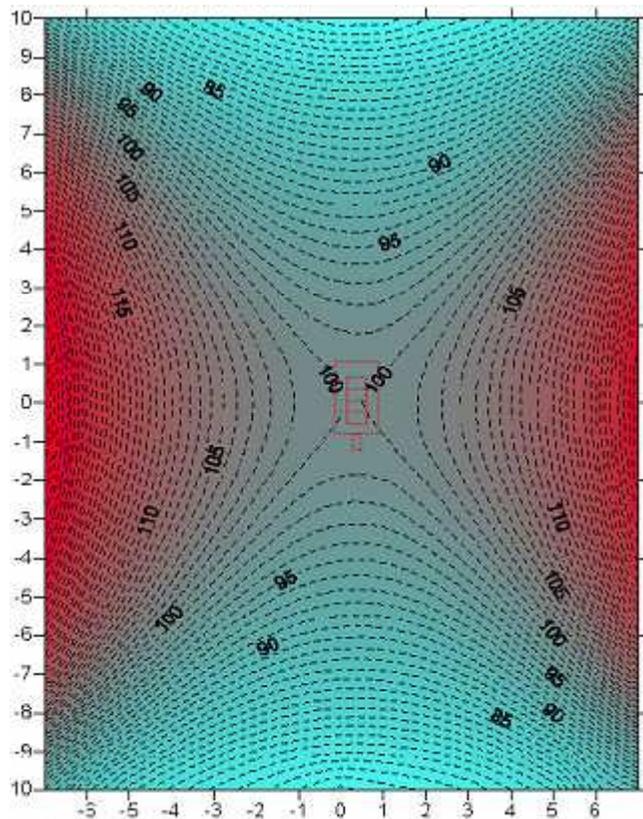
TEMPERATURE D'IRRADIATION

moyenne: 19.99, écart-type: 0.17

N° du certificat: Cet n°101 421
N° du thermocouple: TK01 sur voie 0, T°brute: 20.80, T°corrigée: 20.04

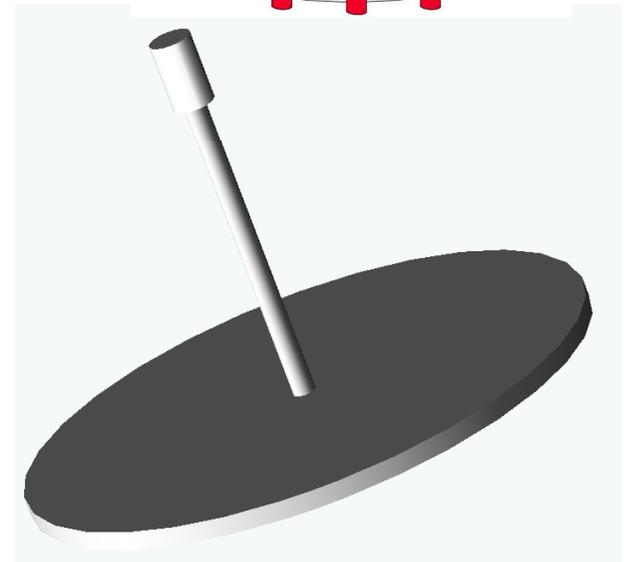
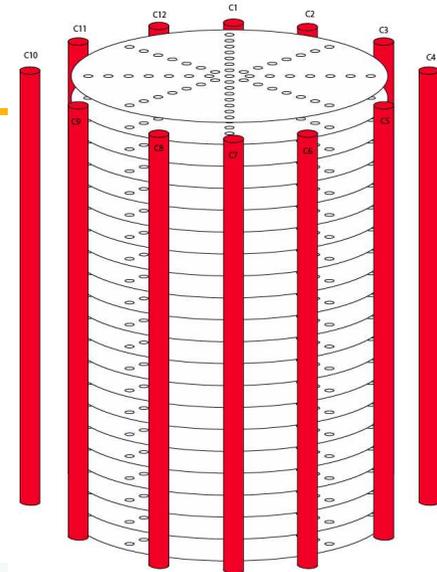
Graphique: Amplitude vs Temps (04:57:34 to 05:02:28)

- **Pour une irradiation homogène :**
 - ✓ **Cartographies isodoses simulée et expérimentale**
 - ✓ **Système de positionnement reproductible du dosimètre**



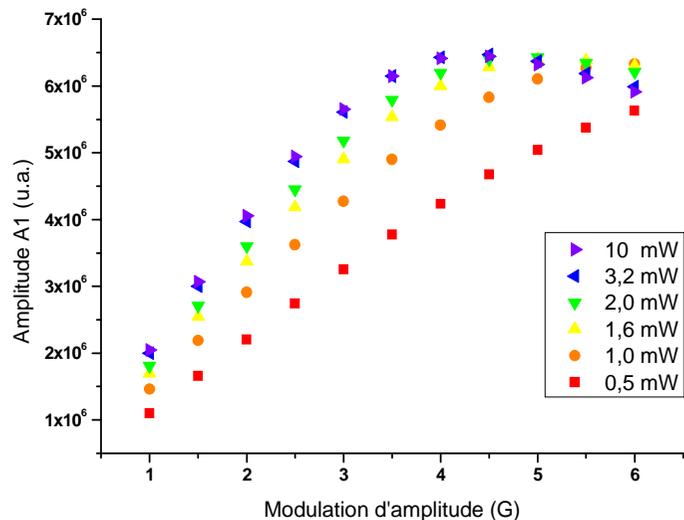
Experimental

	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
9	92		80		77					79		86		97	
8															
7															
6	115		96		88		89		90		96		117		
5															
4	123		102				95		96		103		126		
3															
2	129		107		99		98		101		108		132		
1				104	101	100	100	100	101	105					
0	130	114	105	101	100	100	100	100	101	103	105	115	132		
-1	130	114	103	102	100	100	101	101	101	103	105	114	130		
-2	130		107		99		98		99		108		129		
-3															
-4	123						94						123		
-5															
-6	114		96		89		89		90		96		115		
-7															
-8															
-9	91							77							91



Support de positionnement reproductible du dosimètre, peu perturbant, dans la zone d'irradiation homogène

➤ Protocole de mesure RPE : P, MA, Cstes tps, Scans, Gain, Angles, R_{cavité}



Ex.: Optimisation conjointe MA et P

Paramètres d'acquisition	Modulation de fréquence (kHz)	100
	Modulation d'amplitude (G)	3
	Gain	adapté
	Time constant (ms)	81.92
	Conversion time (ms)	20.42
	Sweep time (s) =Acquis. 1 spectre = Conv. time*Résol.	21
	Centre du champ	3460
	Fenêtre (G)	280
	Flyback	Left
	Résolution	1024
	Délai d'attente (s)	4
	Atténuation (dB)	20
	Puissance (mW)	2.00
	Réglage fin de la microonde	jamais
	Nombre de scans	3
Offset	auto	
Goniomètre	Incrément (°)	120
	Nombre d'angles	3

➤ Facteurs correctifs à appliquer : k_m, k_{T_{irr}} ou paramètres maintenus constants

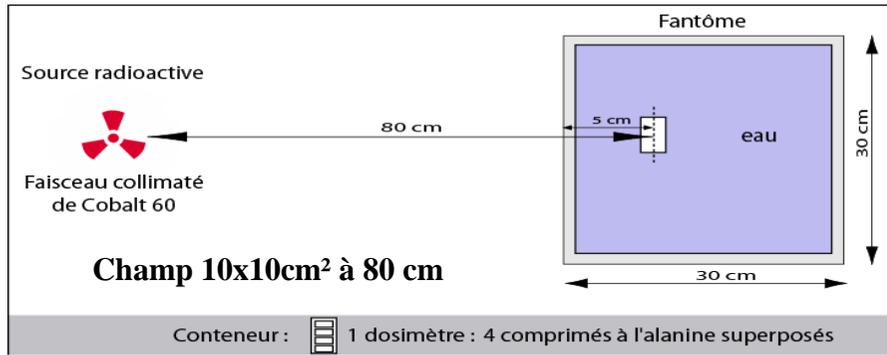
$$S_{RPE} = (S_{brut} - S_{BdF}) \times \underbrace{k_{dérive}}_{\text{appareil}} \times \underbrace{k_m \times k_{T_{mes}}}_{\text{méthode}} \times k_{pos} \times \underbrace{k_{T_{irr}}}_{\text{irrad.}} \times \underbrace{k_{fading}}_{\text{dosimètre}}$$

$$k_m = \frac{66}{m_{pastille}}$$

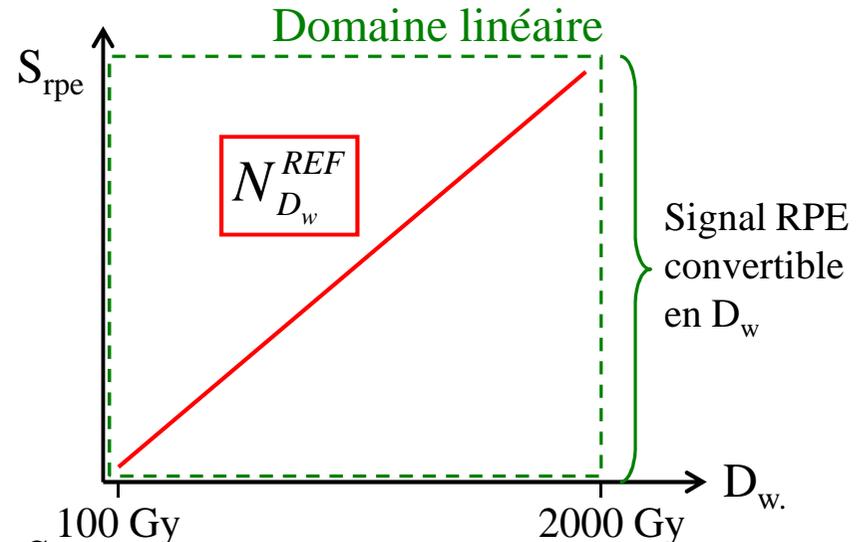
$$k_{T_{irr}} = 1 + k_T (T_{ref} - T_{Irrad}) \text{ avec } k_T = 0,14(2)\% \cdot ^\circ C^{-1}$$

Raccordement de l'irradiateur et courbe FD

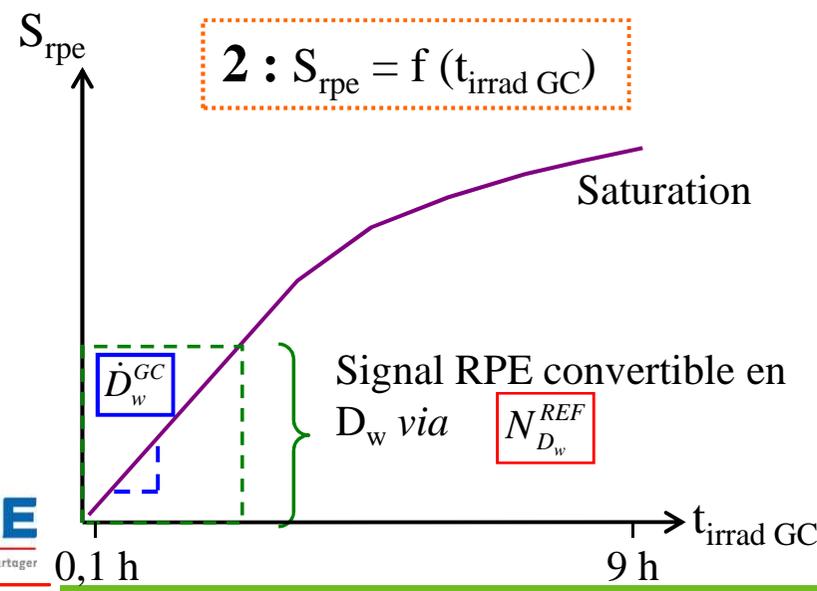
Grandeur du raccordement : $D_w (\neq K_a)$
Faisceau de référence : Irradiateur de ^{60}Co de type radiothérapie (champ carré)



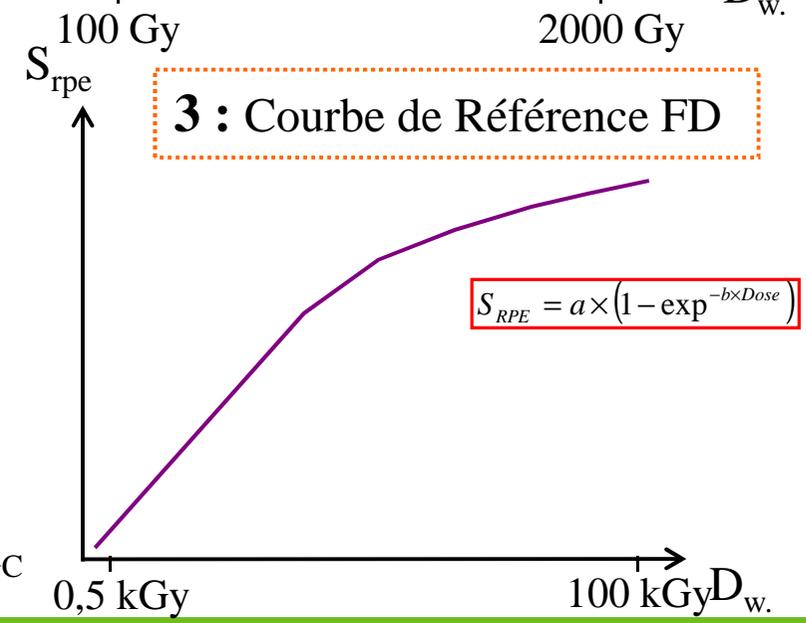
$$1 : S_{rpe} = D_w$$



$$2 : S_{rpe} = f(t_{irrad GC})$$



$$3 : \text{Courbe de Référence FD}$$



✓ **Incertitude relative à la dose délivrée à un dosimètre à l'alanine avec l'irradiateur Fortes Doses :**

Source d'incertitude	Incertitude relative
Coefficient d'étalonnage	0,49 %
Corrélation entre les points	0,16 %
Influence de la valeur de la dose de transition	0,06 %
Temps d'irradiation	$< 10^{-4}$ %
Correction de la décroissance radioactive (^{60}Co)	0,02 %
Incertitude relative combinée (1σ)	0,53 %

✓ **Incertitude relative à la mesure d'une dose inconnue reçue par un dosimètre à l'alanine, en utilisant la courbe de Référence Fortes Doses :**

Source d'incertitude	Incertitude relative
Dose à la GammaCell	0,53 %
Mesure par RPE	0,41 %
Utilisation de la Courbe de Référence Fortes Doses	0,76 %
Incertitude relative combinée (1σ)	1,0 %

- **Ajout de 2 lignes COFRAC à la portée détaillée du LNHB**
 - ✓ Irradiation de dosimètres passifs (Alanine) fournis par le client à des doses de référence en termes de dose absorbée dans l'eau dans un faisceau de photons du ^{60}Co (entre 0,5 et 100 kGy) : **1,1 % (k=2)**
 - ✓ Lecture de la dose reçue (en termes de dose absorbée dans l'eau) par des dosimètres passifs (Alanine) fournis par le LNHB, irradiés chez le client (entre 0,1 et 100 kGy) : **à partir de 2,0 % (k=2)**

- **Incertitudes faibles car laboratoire national de métrologie (primaire)**

- **LNHB n'est pas un prestataire de services : expertise ponctuelle [Débit de dose, Dose-Mapping, Irradiations en T°]**