

## Evaluation du débit d'équivalent de dose en champs pulsés :

Méthode proposée par l'IRSN et exercice de mise en pratique

L. Donadille, A. Rannou, J.L. Rehel, M. Schuler, C. Villagrasa

IRSN - Direction de la Radioprotection de l'Homme

# Contexte et problématique

Des difficultés sont rencontrées pour l'application des dispositions de l'arrêté du 15 mai 2006, plus particulièrement dans le cas des installations émettant des rayonnements ionisants pulsés.

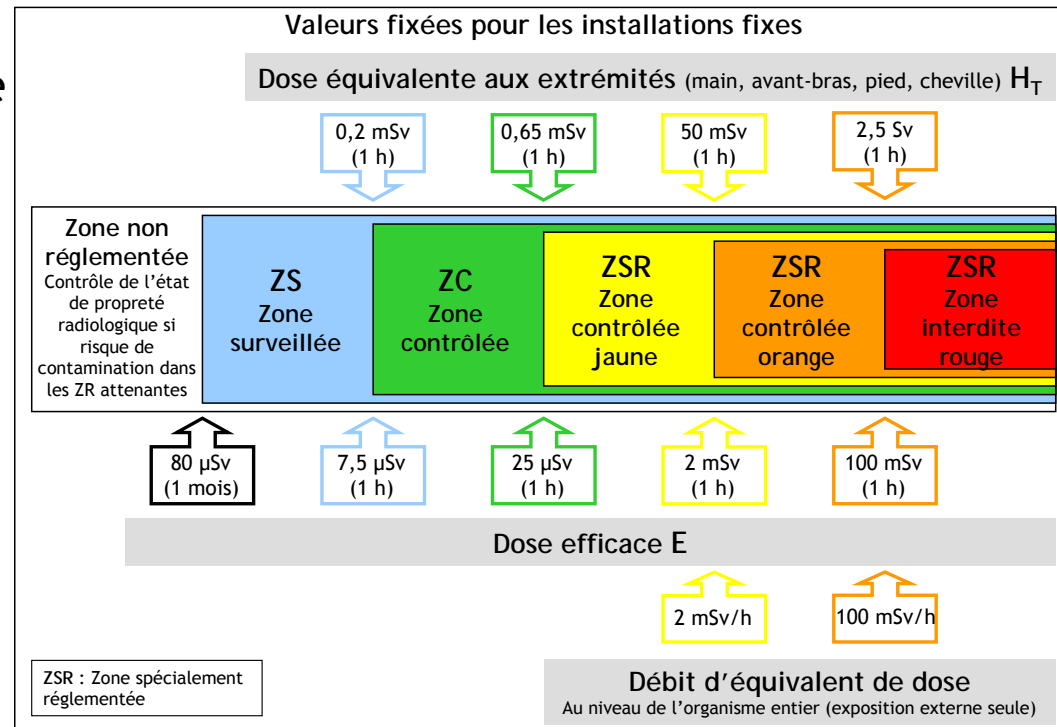
Elles concernent notamment l'évaluation du débit d'équivalent de dose horaire pour les zones spécialement réglementées.

→ proposer une méthode générique pour l'évaluation

- du débit d'équivalent de dose horaire

→ s'assurer de la faisabilité de la mise en œuvre pratique

- de la méthode
- des instruments utilisés



# Sommaire

1. Les champs pulsés
2. La méthode
3. L'exercice de mise en application

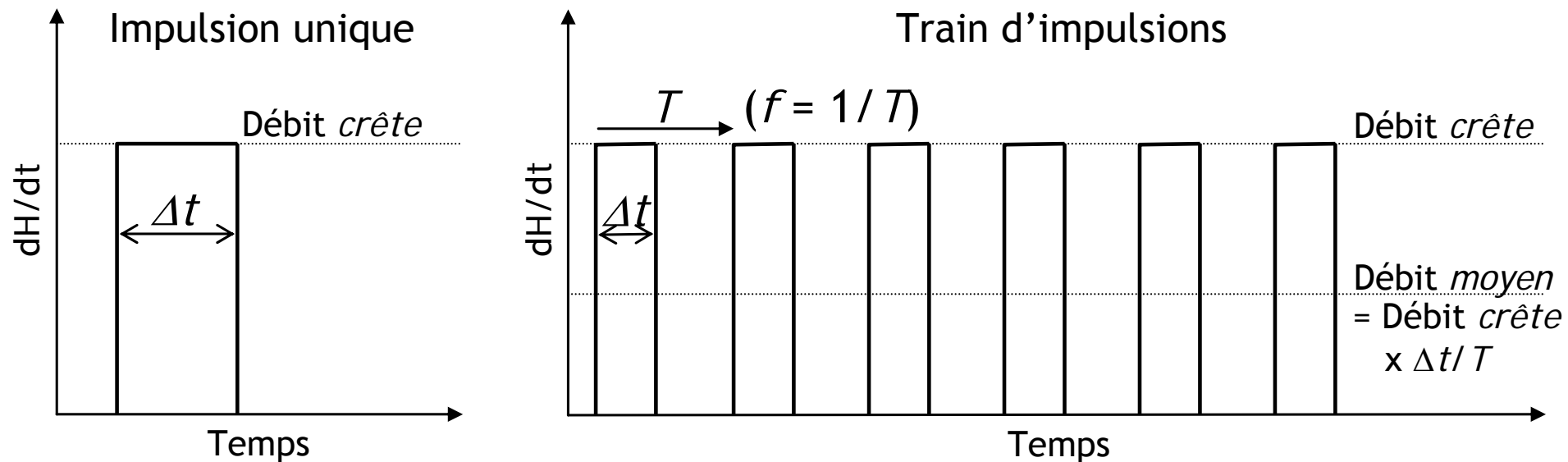
# 1. Les champs pulsés

A ce jour, pas de cadre normatif

→ Champ pulsé =

Tout champ de rayonnements dont la **durée d'émission** est forfaitairement **inférieure ou égale à 10 secondes**, que cette émission soit unique ou répétée dans le temps.

2 cas sont distingués :



## Exemples dans le secteur médical

Type d'activité	Largeur temporelle de l'impulsion $\Delta t$	Fréquence $f$	Durée de l'irradiation	
Radiodiagnostic dentaire	100 ms (rétro-alvéolaire) 14 s (panoramique)	—	—	
Radiologie conventionnelle	10 ms - 1 s	—	—	
Scanographie	400 ms - 20 s	—	—	
Radiologie interventionnelle	Scopie Graphie	5 - 20 ms 5 - 100 ms	1 - 30 Hz 1 - 30 Hz	5 ms - plusieurs min < quelques s

## 2. La méthode

Evaluation du débit d'équivalent de dose horaire,  $dH/dt$  (mSv/h)

Basée sur l'évaluation de l'équivalent de dose intégré,  $H$  (mSv), sur une durée minimale d'une seconde :

$$dH/dt \text{ (mSv/h)} = 3600 \times H \text{ (mSv) intégré sur 1 s}$$

- Choix pratique et *raisonnablement* pénalisant;
- pas d'éléments scientifiques appuyant l'hypothèse qu'à équivalent de dose intégré égal, les effets biologiques dus à une exposition instantanée ou à l'échelle d'une seconde (voire d'une minute) sont différents.

# Déclinaison

$$dH/dt \text{ (mSv/h)} = 3600 \times H \text{ (mSv) intégré sur 1 s}$$

Déclinée en détails pour chacun des cas suivants :

## 1. l'impulsion unique

- 1.1  $\Delta t \leq 1 \text{ s}$  → débit moyenné sur 1 seconde
- 1.2  $\Delta t > 1 \text{ s}$  → débit *crête*
- 1.3  $\Delta t$  inconnue → cas 1.1 (hypothèse prudente)

## 2. le train d'impulsions

- 2.1  $\Delta t \leq 1 \text{ s}$  et  $T \leq 1 \text{ s}$  → débit *moyen*
- 2.2  $\Delta t \leq 1 \text{ s}$  et  $T > 1 \text{ s}$  → débit moyenné sur la seconde qui contient l'impulsion
- 2.3  $\Delta t > 1 \text{ s}$  et  $T > 1 \text{ s}$  → débit *crête*
- 2.4  $\Delta t$  inconnue et  $T > 1 \text{ s}$  → cas 2.2 (hypothèse prudente)
- 2.5  $\Delta t$  et  $T$  inconnues → s'informer sur les caractéristiques temporelles du champ

# Les formules

$$dH/dt \text{ (mSv/h)} = 3600 \times H \text{ (mSv)} \text{ intégré sur } 1 \text{ s}$$

### 1. Impulsion unique

Cas	Durée $\Delta t$ de l'impulsion			Evaluation de $H$ (mSv)	Evaluation de $dH/dt$ (mSv/h)	Remarque
1.1	$\Delta t \leq 1 \text{ s}$			Intégration pour une impulsion	$3600 \times H \text{ (mSv)}$	Si nécessaire, intégrer $n$ impulsions et diviser $dH/dt$ par $n$
1.2	$\Delta t > 1 \text{ s}$		$3600 \times H \text{ (mSv)} / \Delta t \text{ (s)}$			
1.3 <sup>a</sup>	Inconnue		$3600 \times H \text{ (mSv)}$			

### 2. Train d'impulsions

Cas	Durée $\Delta t$ de l'impulsion	Période $T$ du train	Fréquence $f$ du train	Evaluation de $H$ (mSv)	Evaluation de $dH/dt$ (mSv/h)	Remarque
2.1	$\Delta t \leq 1 \text{ s}$	$T \leq 1 \text{ s}$	$f \geq 1 \text{ Hz}$	Intégration sur une durée $t_{\text{int}}$ avec $t_{\text{int}} > 1 \text{ s}$ et $t_{\text{int}} \gg T$	$3600 \times H \text{ (mSv)} / t_{\text{int}} \text{ (s)}$	La durée d'intégration $t_{\text{int}}$ doit permettre de couvrir au minimum 10 périodes $T$
2.2	$\Delta t \leq 1 \text{ s}$	$T > 1 \text{ s}$	$f < 1 \text{ Hz}$		$3600 \times H \text{ (mSv)} \times T \text{ (s)} / t_{\text{int}} \text{ (s)}$	
2.3	$\Delta t > 1 \text{ s}$	$T > 1 \text{ s}$	$f < 1 \text{ Hz}$		$3600 \times H \text{ (mSv)} \times T \text{ (s)} / (t_{\text{int}} \text{ (s)} \times \Delta t \text{ (s)})$	
2.4 <sup>b</sup>	Inconnue	$T > 1 \text{ s}$	$f < 1 \text{ Hz}$		$3600 \times H \text{ (mSv)} \times T \text{ (s)} / t_{\text{int}} \text{ (s)}$	
2.5	Inconnues			S'informer sur les caractéristiques temporelles du champ de rayonnement		

<sup>a</sup> Hypothèse prudente cas 1.1 ; <sup>b</sup> Hypothèse prudente cas 2.2

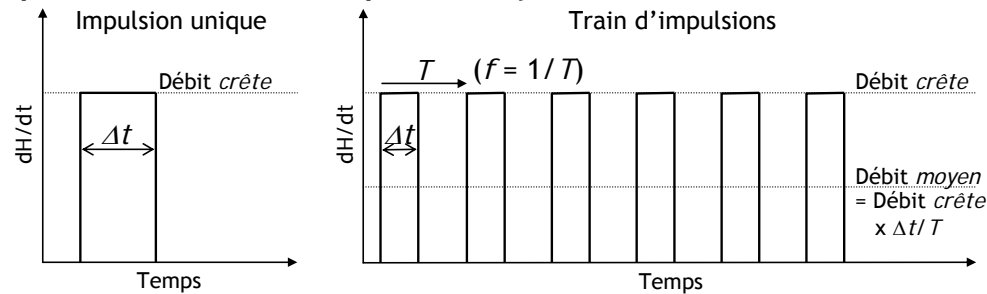


# Recommandations pour l'utilisation des radiamètres d'ambiance

- Connaître les gammes de fonctionnement des appareils et leurs réponses  
débit de dose maximum toléré, caractéristiques temporelles, réponse en énergie, etc.
- Etalonner les appareils en champ pulsé dans des conditions voisines de celles d'utilisation  
pas de norme ; peu d'installations : CEA-LNHB, PTB
- Réaliser les mesures en mode « intégration de dose »
- Procéder à des vérifications élémentaires durant les mesures  
proportionnalité des résultats vis-à-vis de variations de la largeur du pulse, de la fréquence, de l'intensité, de la loi  $1/d^2$ , ...
- Une méthode de référence : la dosimétrie passive

# Fiche synthétique

## ➤ Caractéristiques temporelles des champs de rayonnement :



## ➤ Liste des cas et méthode d'évaluation de dH/dt (mSv/h) :

Les mesures de  $H$  doivent être faites avec des instruments réglés sur le mode « intégration de dose »

### 1. Impulsion unique

Cas	Durée $\Delta t$ de l'impulsion			Evaluation de $H$ (mSv)	Evaluation de $dH/dt$ (mSv/h)	Remarque
1.1	$\Delta t \leq 1$ s			Intégration pour une impulsion	$3600 \times H$ (mSv)	Si nécessaire, intégrer $n$ impulsions et diviser $dH/dt$ par $n$
1.2	$\Delta t > 1$ s				$3600 \times H$ (mSv) / $\Delta t$ (s)	
1.3 <sup>a</sup>	Inconnue				$3600 \times H$ (mSv)	

### 2. Train d'impulsions

Cas	Durée $\Delta t$ de l'impulsion	Période $T$ du train	Fréquence $f$ du train	Evaluation de $H$ (mSv)	Evaluation de $dH/dt$ (mSv/h)	Remarque
2.1	$\Delta t \leq 1$ s	$T \leq 1$ s	$f \geq 1$ Hz	Intégration sur une durée $t_{int}$ avec $t_{int} > 1$ s et $t_{int} \gg T$	$3600 \times H$ (mSv) / $t_{int}$ (s)	La durée d'intégration $t_{int}$ doit permettre de couvrir au minimum 10 périodes $T$
2.2	$\Delta t \leq 1$ s	$T > 1$ s	$f < 1$ Hz		$3600 \times H$ (mSv) $\times T$ (s) / $t_{int}$ (s)	
2.3	$\Delta t > 1$ s	$T > 1$ s	$f < 1$ Hz		$3600 \times H$ (mSv) $\times T$ (s) / ( $t_{int}$ (s) $\times \Delta t$ (s) )	
2.4 <sup>b</sup>	Inconnue	$T > 1$ s	$f < 1$ Hz		$3600 \times H$ (mSv) $\times T$ (s) / $t_{int}$ (s)	
2.5	Inconnues			S'informer sur les caractéristiques temporelles du champ de rayonnement		

<sup>a</sup> Hypothèse prudente cas 1.1 ; <sup>b</sup> Hypothèse prudente cas 2.2

## ➤ Vérifications élémentaires :

Tout autre facteur d'influence restant constant, vérifier la proportionnalité des résultats obtenus vis-à-vis de  $\Delta t$ ,  $f$  ( $1/T$ ),  $t_{int}$ , l'intensité des rayonnements (mA ou la charge mA.s dans le cas d'un générateur X), ou encore  $1/d^2$ , l'inverse du carré de la distance au centre de la source. Cette dernière vérification est à considérer de façon approximative en raison du caractère généralement non ponctuel de la source.

### 3. L'exercice de mise en application

Objectif :

s'assurer de la faisabilité de la mise en œuvre pratique

- de la méthode et
- des instruments utilisés.

- Impliquer les organismes agréés
- Recueillir leur avis
- Utiliser différents radiamètres

## Organisation

- Lieu: Installation X pulsés du CEA-LNHB, Saclay
- 18-19 octobre 2010
- 8 organismes agréés participants :
  - ALGADE, APAVE Parisienne, Bureau Veritas, CERAP, DEKRA Inspection, MSIS, SGS Qualitest, Techniconseil SARL.
  - 4 groupes
  - 1 radiamètre par groupe
  - Chaque groupe a réalisé successivement la série d'irradiations en mettant en œuvre la méthode:  
Mesure de H, Formule à appliquer, Vérifications élémentaires
- Organisation :
  - J1 → mesures
  - J2 → REX via un questionnaire  
Appropriation de la méthode, clarifications à y apporter, caractère transférable

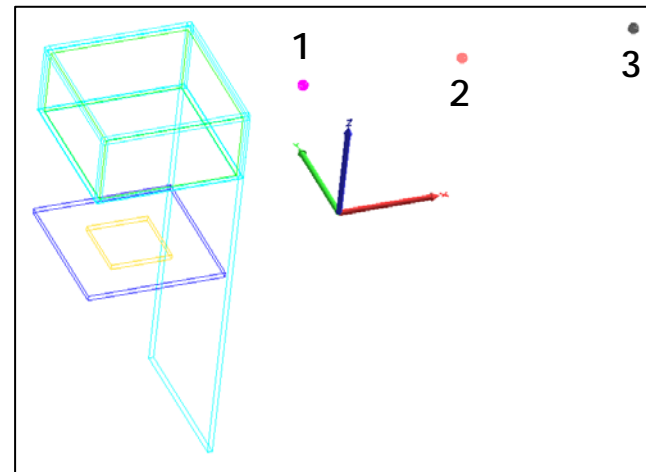
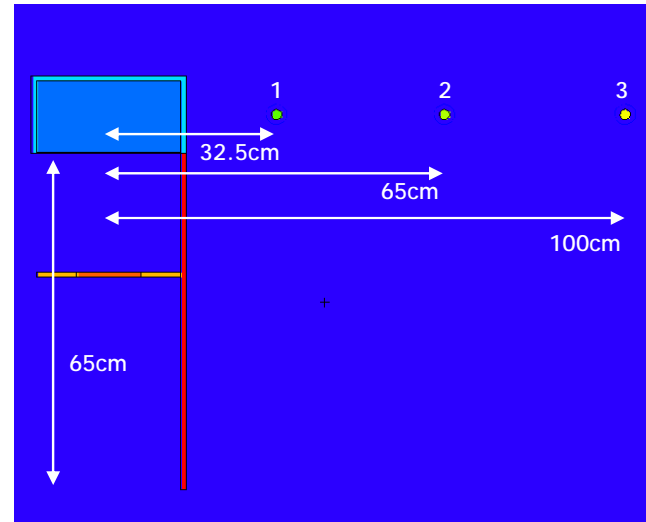
## Radiamètres utilisés

Radiamètre	Type	Gamme d'énergie	Gamme de débit de dose	Gamme de dose
Babyline 81 (CANBERRA EURISYS)	Chambre d'ionisation (515 cm <sup>3</sup> )	8 keV - 2 MeV	~1 µGy/h - 1000 mGy/h	~1 µGy - 100 mGy
Radcal 20X6-1800 (Radcal)	Chambre d'ionisation (1800 cm <sup>3</sup> )	±5% 33 keV - 1.33 MeV	1 µGy/h - 570 mGy/h	0.5 nGy - 2.1 Gy
Victoreen 451 P (FLUKE Biomedical)	Chambre d'ionisation (230 cm <sup>3</sup> )	≥ 25 keV	≤ 50 mSv/h	-

+ d'autres radiamètres apportés, mais non testés pour l'ensemble des configurations

## Géométrie

Points de mesure 1, 2 et 3 dans le rayonnement diffusé



## Configurations pulsées

Installation								Référence			
Config	$I$ (mA)	$\Delta t$ (ms)	$f$ (Hz)	$T$ (ms)	$t_{int}$ (s)	Répétition	Charge (mAs)	$d$ (cm)	$Ka$ ( $\mu$ Gy)	$dKa/dt$ crête (mGy/h)	$dKa/dt$ moyen (mGy/h)
<b>1. Impulsion unique</b>											
1.1	630	1	-	-	-	10	6.3	32.5	1	515	-
1.2	630	10	-	-	-	2	12.6	32.5	2	392	-
1.3	630	100	-	-	-	-	63	32.5	10	371	-
1.4	630	1000	-	-	-	-	630	32.5	102	368	-
1.5	200	1000	-	-	-	-	200	32.5	33	120	-
1.6	200	6300	-	-	-	-	1260	32.5	208	119	-
<b>2. Train d'impulsions</b>											
2.1	800	20	1	1000	10	-	160	32.5	29	518	10
2.2	800	20	10	100	10	-	1600	32.5	293	527	105
2.3	800	20	20	50	10	-	3200	32.5	589	530	212
2.4	100	20	10	100	10	-	200	32.5	37	66	13
2.5	200	6300	0.040	25000	125	-	6300	32.5	1036	118	30
2.6	800	20	10	100	10	-	1600	65	60	109	22
2.7	800	20	10	100	10	-	1600	100	24	44	9

## Résultats

Pour chaque radiamètre:

$$\text{Réponse} = \text{Valeur lue} / \text{Valeur de référence}$$

Mais en pratique la valeur de référence au point de mesure est inconnue

→ Exemple de **vérifications élémentaires** des valeurs mesurées :

$$\text{Valeur configuration } n / \text{Valeur configuration } n-1 \text{ extrapolée}$$

proportionnellement à la variation de :

$$I, \Delta t, f \rightarrow \text{charge (mA.s)}$$

$$1/d^2$$

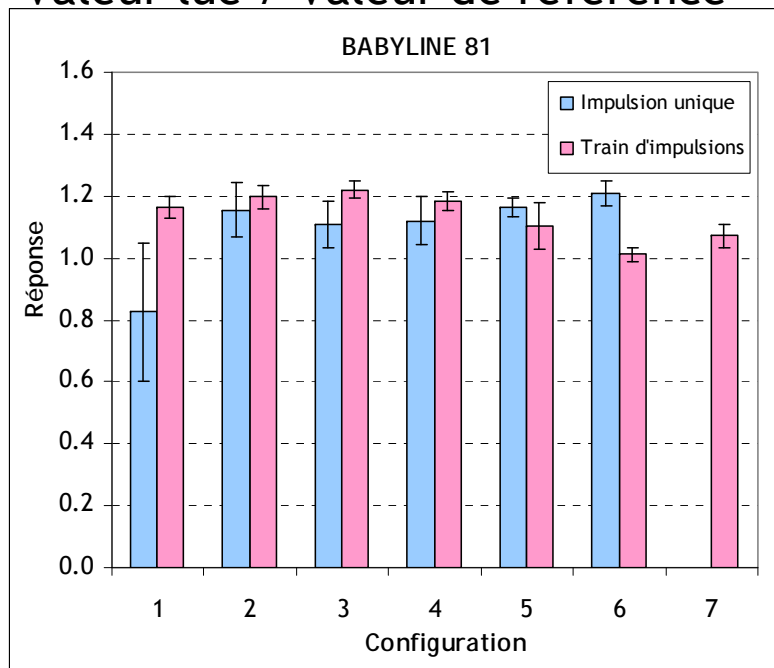
Si rapport très différent de 1 → anomalie



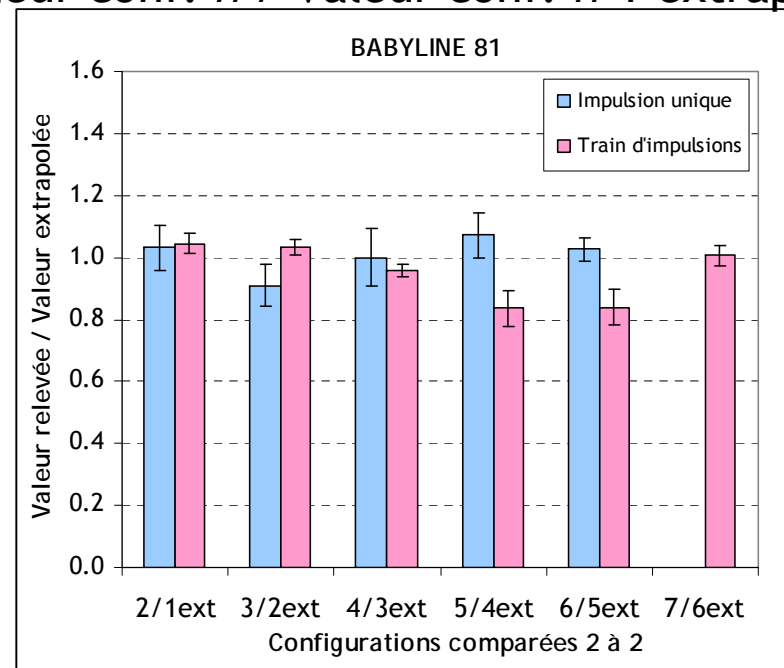
## Babyline 81



Réponse =  
Valeur lue / Valeur de référence

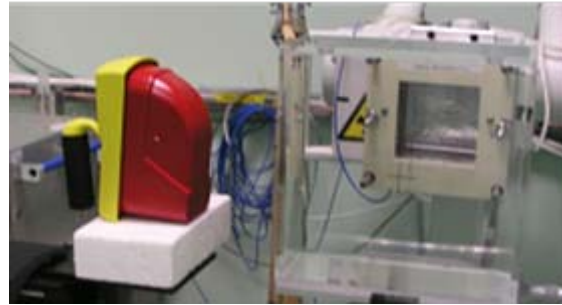


Vérifications =  
Valeur conf.  $n$  / Valeur conf.  $n-1$  extrapolée

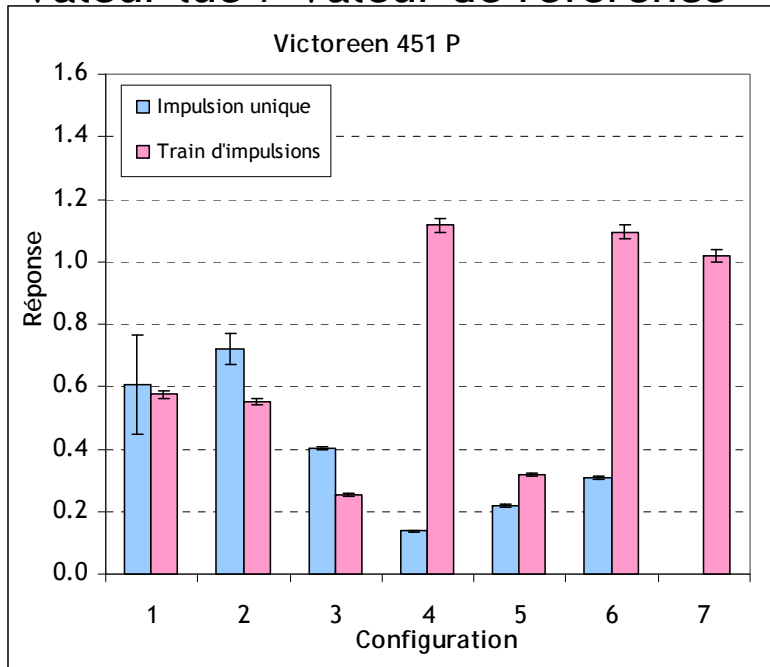


- Réponse: satisfaisante
- Vérifications: satisfaisantes

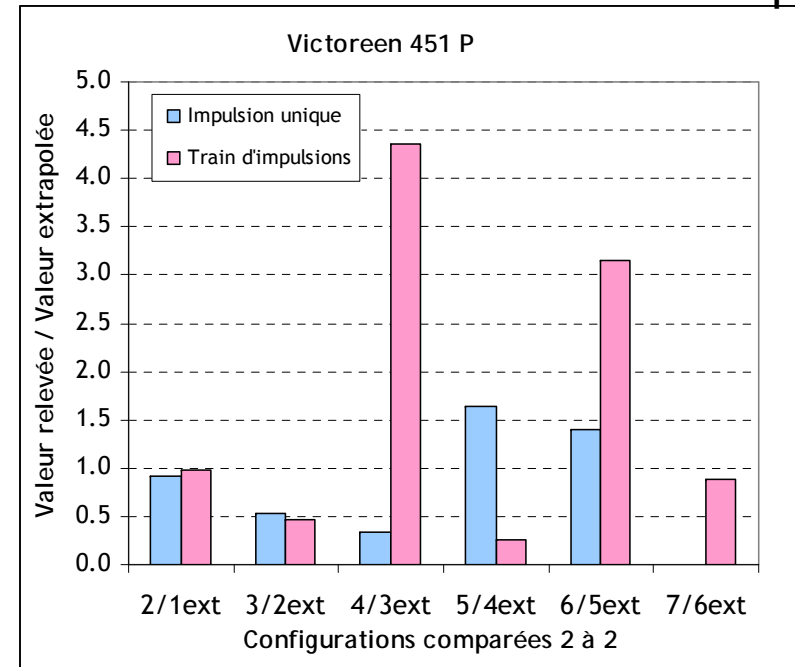
## Victoreen 451 P



Réponse =  
Valeur lue / Valeur de référence



Vérifications =  
Valeur conf.  $n$  / Valeur conf.  $n-1$  extrapolée



- Réponse: pas satisfaisante
- Vérifications: comportement erratique → mesures non fiables
- Il s'agit ici d'un problème de saturation de l'instrument

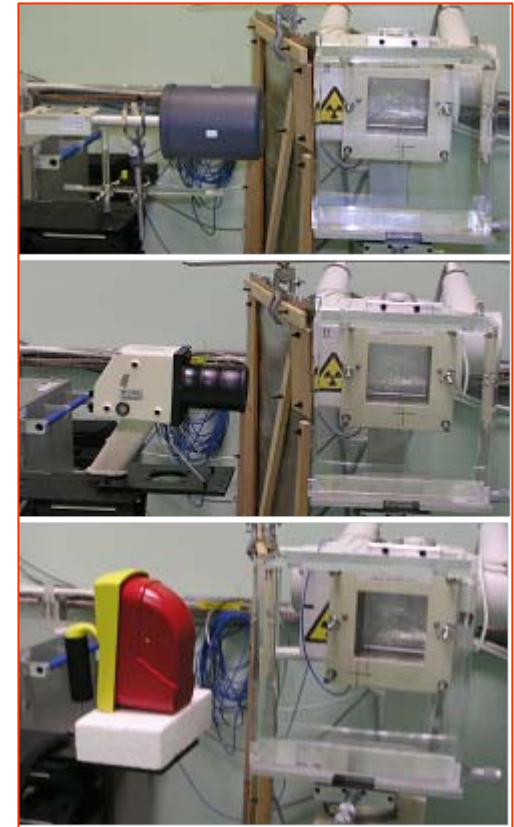
## Comportement des radiamètres

### Résumé

- Babyline 81: comportement satisfaisant
  - RadCal 20X6-1800: comportement satisfaisant
  - Victoreen 451 P: problème de saturation
- Les vérifications élémentaires permettent d'identifier, dans la grande majorité des cas, des problèmes de détection

### Loi $1/d^2$

- Sa validité n'est que partielle (source non ponctuelle)
- Elle donne lieu à:
  - une surestimation des doses pour une extrapolation vers de plus grandes distances
  - une sous-estimation des doses pour une extrapolation vers de plus faibles distances



## Conclusion

- Une méthode d'évaluation du débit d'équivalent de dose pour les champs pulsés est proposée.
- Elle permet d'harmoniser ces évaluations.
- Elle fournit des éléments de vérification de la fiabilité des mesures réalisées.
- Mise en pratique éprouvée au moyen d'un exercice au CEA-LNHB ayant impliqué 8 OA et différents radiamètres d'ambiance.
- Bien comprise par les participants, qui l'ont de plus estimée facilement transférable.
- Pas d'incompatibilité fondamentale relevée des radiamètres utilisés avec les champs pulsés explorés.
- L'IRSN estime que la méthode est généralisable à la grande majorité des types de champs pulsés.
- Cependant, elle ne résout pas tous les problèmes (ZSR rouge).