

PI. EVALUATION DE LA DOSIMETRIE BETA EN VUE D'AMELIORER LES POSTES DE TRAVAIL D'UN LABORATOIRE DE BIOLOGIE

F.Beltritti*, M. Juanola*, S.Barril*, G.Tarraud*, C.Thérenée**

Commissariat à l'Energie Atomique

*Service de Protection contre les Rayonnements ionisants de Cadarache

** Département d'Ecophysiologie Végétale et de Microbiologie

13108 St Paul-Lez-Durance

1. INTRODUCTION

La DSV (Direction des Sciences du Vivant) est une des directions opérationnelles du CEA. Implantée sur cinq centres d'études du CEA, les laboratoires sont organisés en six départements dont le DEVM (Département d'Ecophysiologie Végétale et de Microbiologie). Au DEVM, les radioéléments sont utilisés comme traceurs. Plus de 95 % des isotopes utilisés sont des émetteurs β pur, tels que le ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S , ^{14}C , ^{99}Tc . Près de 90 % des manipulations effectuées sont faites avec du ^{32}P , l'énergie maximale de 1,7 MeV de l'électron le rendant très facilement détectable.

Une étude dosimétrique de terrain a été effectuée au DEVM par le SPR/LRIR de Cadarache sur 2000-2001. Cette étude avait pour but d'évaluer de façon fine l'impact des radioéléments bêta purs sur la dosimétrie extrémités des travailleurs du DEVM afin de mettre en place une démarche d'optimisation et de définir des consignes de radioprotection particulières.

2 ETUDE DOSIMETRIQUE DE TERRAIN

2.1. Introduction

L'étude a consisté à :

- ⇨ effectuer une intercomparaison de dosimètres vis à vis du rayonnement bêta et estimer le débit d'équivalent de dose généré par les radionucléides;
- ⇨ déterminer les effets d'atténuation par rapport à la distance et aux écrans.

200 mesures ont été effectuées sur différentes sources radioactives liquides toutes émettrices β pur d'énergie comprise entre 160 keV et 1,7 MeV présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Activités des sources utilisées pour l'étude

| Radioéléments | ^{14}C | ^{35}S | ^{33}P | ^{99}Tc | ^{32}P |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Energies maximales en keV | 157 | 168 | 249 | 294 | 1710 |
| Activité source en MBq | 3,7 | 7 | 1,85 | 8,2 | 16,65 |

L'activité choisie pour les mesures est l'activité maximale manipulée lors des expérimentations au DEVM. Du fait de la géométrie des sources (volume de quelques μl dans une éprouvette), elles peuvent être considérées comme ponctuelles. Le temps d'exposition des dosimètres a varié de quelques jours à quelques heures suivant les mesures.

2.2. Intercomparaison des dosimètres et estimation de débit d'équivalent de dose

3 types de dosimètres ont été comparés :

1. *Dosimètres chargés au carbone (dosimètre de référence)*
2. *Dosimètres bague (dosimètre opérationnelle utilisé au DEVM)*
3. *Dosimètres pastille FLI 7 (dosimètre de mesure utilisé ponctuellement au CEA/Cadarache)*

Les mesures ont été effectuées au pseudo-contact des cinq sources radioactives avec deux dosimètres par point de mesure. Le schéma 1 illustre les conditions de mesure.

Les résultats sont présentés dans le tableau 2. Ils sont valables uniquement dans le cadre de l'expérience décrite ci-dessus.

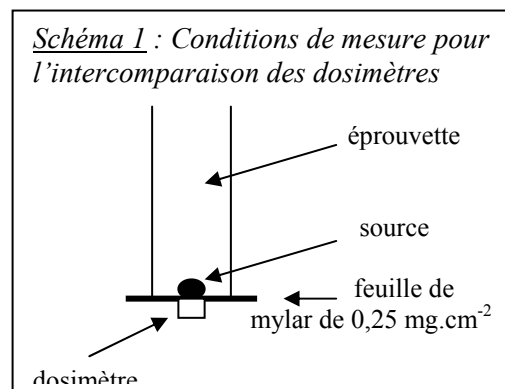


Tableau 2 : Résultats de l'intercomparaison des dosimètres

| | | ¹⁴ C | ³⁵ S | ³³ P | ⁹⁹ Tc | ³² P |
|-------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Dosimètre carbone | Débit de dose en mGy.h ⁻¹ | 0,7 | 150 | 40 à 122 | 325 | 2600 |
| Dosimètre bague | Débit de dose en mGy.h ⁻¹ | < LD ⁽¹⁾ | < LD ⁽¹⁾ | 1,3 | 0,5 | 592 |
| | Ecart/dosimètre carbone | - | - | 94 | 650 | 4,5 |
| Dosimètre FLI 7 | Débit de dose en mGy.h ⁻¹ | 0,042 | 34,3 | 2,6 | 35 | 396 |
| | Ecart/dosimètre carbone | 16,5 | 4,5 | 47 | 9 | 6,5 |

Pour les dosimètres de type Fli7 (bague comprise), hormis le ³²P, les résultats obtenus sont incohérents par rapport au dosimètre carbone de référence. Globalement, ces résultats confirment les caractéristiques des dosimètres, avec notamment une mauvaise estimation de la dose par les dosimètres bagues utilisés au DEVM en opérationnel qui ne permettent pas d'effectuer une comptabilisation fiable des doses extrémités reçues. Pour le ³²P, d'énergie beaucoup plus élevée, les dosimètres bagues sous-estiment environ d'un facteur 4,5 les débits d'équivalent de dose.

Les résultats des dosimètres chargés en carbone utilisés pour l'intercomparaison (cf. tableau 2) ont été également utilisés pour effectuer finement l'estimation du débit d'équivalent de dose généré par chaque source et le normaliser à 1 Bq. Cette estimation nous servira à déterminer de façon théorique le niveau d'exposition des opérateurs lors des manipulations des sources radioactives. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

¹ Le temps d'exposition n'a pas été assez long pour obtenir la limite de détection du dosimètre.

Tableau 3 : Résultats des débits d'équivalent de dose

| | ¹⁴ C | ³⁵ S | ³³ P | ⁹⁹ Tc | ³² P |
|--|-----------------|-----------------|------------------------|------------------|-----------------|
| | 3,7 MBq | 7 MBq | 1,85 MBq | 8,2 MBq | 16,65 MBq |
| nGy.h ⁻¹ /Bq | 0,2 | 21,4 | 21 à 66 ⁽²⁾ | 39,6 | 154,5 |
| Temps d'exposition en h pour recevoir une dose annuelle extrémité de 150 mSv | 214 | 1 | 3,75 à 1,25 | 0,5 | 0,05 |

Les résultats obtenus pour le ¹⁴C, ³⁵S, ne peuvent pas être considérés comme valides, compte tenu du dosimètre carbone de référence dont la réponse en énergie n'est fiable qu'à partir de 200 keV. Pour le ³³P, des mesures devraient être refaites afin de s'affranchir de l'incertitude. Cependant, ce tableau souligne que, au pseudo-contact du dispositif d'essai, les niveaux d'exposition que peuvent subir les opérateurs sont très importants avec pour le ³²P la dose annuelle extrémité reçue en 3 mn. Tout contact direct source/opérateur devra donc être évité dans les manipulations effectuées au DEVM.

2.3. Effet écran/distance

Les effets des écrans et de la distance seront présentés uniquement pour le ³²P, radioélément le plus manipulé au DEVM, d'énergie la plus élevée. Les dosimètres ont été placés à différents espacements pour déterminer l'atténuation due à la distance. Ensuite, des écrans ont été placés entre les sources radioactives et les dosimètres pour déterminer l'atténuation due aux écrans (cf. Schéma 2). Les résultats sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

Schéma 2 : configurations expérimentales pour l'évaluation des effets écran/distance

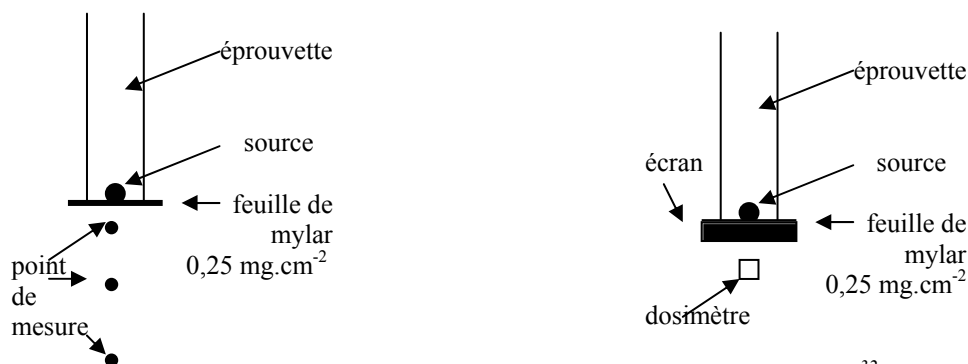


Tableau 4 : Résultats des effets de distance pour le ³²P

| Distance | 5 cm | 20 cm | 30 cm |
|---|------|-------|-------|
| Atténuation par rapport au pseudo-contact | 22 | 290 | 636 |

Dans la pratique, le dosimètre bague d'un opérateur doit être située au niveau de la main à environ 5 cm de l'extrémité des doigts, ce qui implique que le dosimètre bague, par rapport à sa position, minimise la dose extrémité d'un facteur supérieur à 20.

² Les deux mesures ont donné des résultats très peu semblables.

Par ailleurs, ces résultats montrent que la distance est un facteur important dans l'atténuation de l'exposition des opérateurs vis à vis du ^{32}P , et a fortiori pour les autres radioéléments β pur de plus faible énergie. Ils mettent également en évidence la grosse variabilité des résultats de débit d'équivalent de dose en fonction de la distance.

Tableau 5 : Résultats des effets d'écran³ pour le ^{32}P

| Ecran en mg.cm^{-2} | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 1500 |
|---|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|
| Atténuation par rapport au pseudo-contact | 1,15 | 1,35 | 2,1 | 4,2 | 33,4 | 225 | 268 | 295 |

Les écrans permettent d'atténuer fortement le rayonnement bêta pur. En théorie, l'absorption totale de l'émission β du ^{32}P est obtenue pour environ 700 mg.cm^{-2} , soit 7 mm de plastique et 3 mm de verre, quelle que soit l'activité de la source. Sinon pour tous les autres radioéléments utilisés au DEVM, 1 mm de plastique suffit à arrêter tous les bêtas. Cependant, une attention particulière doit être portée sur le rayonnement de freinage. De ce fait, le choix de protections biologiques se porte sur les matériaux à faible densité comme le plastique et le verre. Il est à noter qu'une protection biologique de 700 mg.cm^{-2} équivaut globalement à une vingtaine de centimètres d'air.

2.4. Conclusion

L'étude dosimétrique de terrain a mis en évidence que la dosimètre bague utilisé en dosimétrie opérationnelle au DEVM est un indicateur de suivi dosimétrique peu précis, compte tenu de ses capacités de détection et de la variabilité des résultats en fonction de sa position vis à vis de sources d'irradiation d'émetteurs bêta purs, d'autant plus que l'énergie de ces derniers est faible. De ce fait, les volets suivi et « retour d'expérience dosimétrique », nécessaires à toute démarche d'optimisation classique pour comparer par rapport au prévisionnel ne peuvent pas être mis en place. En conséquence, au DEVM, l'optimisation des doses va se résumer essentiellement à une démarche de prévention et à une analyse multi-critères prenant en compte des contraintes de sécurité classique ainsi que les contraintes d'expérimentation.

³ Ecrans en aluminium

3. PREVENTION DES DOSES

3.1. Méthodologie

La démarche de prévention des doses est basée sur la réalisation d'études de postes avec un phasage complet sur les manipulations effectuées sur la zone du DEVM a été entreprise. Pour cela, des trinômes ont été mis en place avec le SPR, l'Ingénieur Sécurité de l'Installation et l'opérateur concerné en vue de vérifier les conditions d'expérimentation et de valider un protocole expérimental entre les différentes parties. Une étude de poste a été effectuée par le biais d'une expérience « dite à blanc » (sans radioactivité). Cette expérience détaillée phase par phase emmène le trinôme à réfléchir et à proposer presque en temps réel des options de radioprotection ou un changement du mode opératoire pour la bonne réalisation de l'expérience. D'un point de vue d'exposition externe, la continuité des protections biologiques sera un des critères de réflexion, quels que soient le niveau d'activité et le radioélément manipulé, en identifiant notamment les tâches pour lesquelles la continuité de protection radiologique devrait être assurée autant que faire se peut. Le risque de contamination corporelle doit également être analysé puisqu'il peut engendrer un risque d'exposition externe non négligeable.

3.2. Exemple « d'expérience à blanc »

L'expérience choisie est une dilution de source mère de ^{32}P (16,65 MBq pour 50 μl). Le risque d'exposition externe se situe essentiellement au niveau des extrémités (main et avant bras). Pour le torse de l'opérateur, l'effet de distance ainsi que la mise en place de protections radiologiques en plastique (>10 mm) au poste de travail permettent de s'affranchir de ce risque.

L'opération a été découpée en phase :

1. Réception de la source mère
2. Ouverture de la source mère
3. Pipetage de la source mère
4. Dépôt de la source dans des petites fioles
5. Fermer les fioles et les stocker avant expérimentation

Pour chaque phase, nous vérifions la présence de protection radiologique suffisante entre l'opérateur et la source (3 mm de verre ou équivalent), et examinons la méthodologie d'expérimentation ainsi que les autres risques associés. Par exemple, pour les phase 1 et 5, le risque d'exposition externe est maîtrisé par la présence du flacon en verre dans lequel se trouve la source. Pour les phases 2 et 4 où le faisceau est collimaté et pour lesquelles on ne peut disposer de protection entre la source et les mains de l'opérateur, l'expérience à blanc permet de faire prendre conscience à l'opérateur qu'il doit éviter de passer la main au dessus du faisceau. Pour la phase 3 et autres manipulations avec la pipette, des protections autour de cet instrument ont été envisagées. Le verre n'a pas été retenu par rapport au plastique à cause des risques de bris qui peuvent entraîner une contamination interne par blessure.

Par ailleurs, l'emploi systématique du verre entraînerait une augmentation des coûts sur la gestion des déchets au DEVM. Cette expérience à blanc permet de façon générale au travailleur d'apprendre à contrôler périodiquement son plan de travail et le nettoyer ou identifier les phases où il doit effectuer un contrôle de contamination corporelle (phases 2 et 5 dans l'exemple).

4. CONCLUSION

Une étude dosimétrique de terrain a mis en évidence que le dosimètre bague utilisé en dosimétrie opérationnelle au DEVM est un indicateur de suivi dosimétrique peu précis, compte tenu de ses capacités de détection et de la variabilité des résultats en fonction de sa position vis à vis de sources d'irradiation d'émetteurs bêta purs. Compte tenu de ces difficultés, l'optimisation des doses se résume essentiellement à une démarche de prévention et à une analyse multi-critères prenant en compte des contraintes de sécurité classique ainsi que les contraintes d'expérimentation. Cette démarche se formalise par la réalisation d'études de postes effectuées par l'agent SPR, l'ingénieur sécurité et l'opérateur concerné qui permettent d'identifier les bonnes pratiques de radioprotection.

Par ailleurs, dans le cadre de la démarche propreté radiologique entreprise au CEA, une formation sous forme de travaux pratiques, obligatoire à tout nouvel manipulateur, sera mise en œuvre au DEVM afin de formaliser et de diffuser cette culture de radioprotection.