

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Evaluations dosimétriques
de l'exposition au tritium
des salariés de l'entreprise
2M Process et de ceux de
leurs entreprises clientes et
partenaires étant
intervenues sur les sites de
Saint-Maur-des-Fossés (94)
et de Bondoufle (91)**

Rapport DRPH/ 2010-019

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

SOMMAIRE

1	CONTEXTE	2
2	APPROCHE METHODOLOGIQUE DES EVALUATIONS DOSIMETRIQUES	2
3	RECONSTRUCTION DES SCENARIOS D'EXPOSITION	3
3.1.1	Personnes impliquées dans l'incident dont les analyses urinaires ont permis la reconstitution des scénarios d'expositions	3
4	EVALUATIONS DOSIMETRIQUES DES 3 EPISODES D'EXPOSITION AU TRITIUM	7
4.1	OUTILS METHODOLOGIQUES	7
4.1.1	Analyse radiotoxicologique	7
4.1.2	Définition de la Dose efficace	7
4.1.3	Modèle biocinétique	8
4.1.4	Evaluation dosimétrique à partir des mesures radiotoxicologiques	9
4.2	EPISODE 1 : BONDOUFLE DU 18/ 01/ 2010 AU 02/ 02/ 2010	10
4.2.1	Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise A sur le site de Bondoufle	10
4.2.2	Evaluation dosimétrique pour les salariés de 2MProcess sur le site de Bondoufle	11
4.3	EPISODE 2 : SAINT-MAUR-DES-FOSSÉS DU 29/ 04/ 2010 AU 15/ 10/ 2010	12
4.3.1	Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise E sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	12
4.3.2	Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise B sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	12
4.3.3	Evaluation dosimétrique pour les salariés de 2MProcess sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	13
4.4	EPISODE 3 : SAINT-MAUR-DES-FOSSÉS DU 18/ 10/ 2010 AU 04/ 11/ 2010	14
4.4.1	Evaluation dosimétrique pour les salariés de 2MProcess sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	14
4.4.2	Evaluation dosimétrique pour le salarié de l'entreprise C sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	15
4.4.3	Evaluation dosimétrique pour le salarié de l'entreprise D sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	16
4.4.4	Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise A sur le site de Saint-Maur-des-Fossés	16
5	BILAN DES EVALUATIONS DOSIMETRIQUES	17
6	RECOMMANDATIONS	18
6.1	RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'EVALUATION DOSIMETRIQUE DE BONDOUFLE	18
6.2	RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE SUIVI RADIOTOXICOLOGIQUE DES SALARIES	18
6.3	RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A UNE CONTAMINATION AU TRITIUM	18
7	REFERENCES	19

1 CONTEXTE

Le 3 novembre 2010, une contamination par du tritium a été mise en évidence chez un prestataire du centre CEA/Valduc, l'entreprise 2M Process dont le siège est situé à Saint-Maur-des-Fossés (94). Cette contamination a été découverte suite à une mesure positive de tritium dans les urines d'un des salariés de l'entreprise, en mission sur le site de Valduc le 29 octobre 2010. Les mesures radiotoxicologiques urinaires de contrôle réalisées le 3 novembre par le CEA/Valduc chez les cinq autres salariés de l'entreprise 2M Process, qui ne s'étaient pas rendus sur le site de Valduc, se sont également avérées positives. Les mesures environnementales réalisées par l'IRSN ont montré que cette contamination avait pour origine un équipement provenant du CEA/Valduc. Cet appareillage avait été envoyé à des fins de test, par le CEA en 2009 sur un premier site de l'entreprise, situé à Bondoufle, avant d'être transféré le 29 avril 2010 sur le site de Saint-Maur-des-Fossés.

En réponse à la demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, figurant en annexe 1, ce rapport présente les évaluations dosimétriques réalisées pour les salariés de l'entreprise 2M Process ainsi que pour les salariés des entreprises clientes et partenaires présents lors de la visite d'avancement des travaux sur le site de Bondoufle le 2 février 2010 et/ou présents à différents titres dans les locaux de Saint-Maur-des-Fossés depuis le 29 avril 2010.

2 APPROCHE METHODOLOGIQUE DES EVALUATIONS DOSIMETRIQUES

La contamination radioactive a pour origine des essais effectués sur un tamis moléculaire contenant du tritium à l'insu des utilisateurs et qui a généré du tritium soit sous forme de vapeur d'eau tritiée, soit sous forme d'eau tritiée directement accessible dans les différents réservoirs d'évacuation de l'appareillage.

Ces essais ayant été réalisés sur deux sites de l'entreprise 2M Process, Bondoufle et Saint-Maur-des-Fossés, il a été nécessaire de reconstituer les scénarios d'exposition des salariés en associant les types d'essais effectués sur le tamis moléculaire sur chacun des deux sites aux temps de présence des salariés de 2MProcess et de ceux de leurs entreprises clientes et partenaires sur ces sites.

En fonction de leur activité dans les locaux de 2MProcess, les salariés des différentes entreprises étant intervenues, ont pu être contaminés soit, par inhalation de vapeur d'eau tritiée, soit par transfert cutané lors de manipulations dans les réservoirs d'évacuation.

L'évaluation des expositions individuelles en tritium et les évaluations dosimétriques correspondantes (doses efficaces engagées sur 50 ans pour des travailleurs, en mSv) reposent sur les mesures urinaires en tritium (en Bq) des salariés qui permettent, à partir de la chronologie des événements ayant conduit à la contamination, de calculer l'activité globale en tritium incorporée au niveau de l'organisme (en Bq), grâce à des modèles biocinétiques et radiotoxicologiques de référence pour le tritium.

3 RECONSTRUCTION DES SCENARIOS D'EXPOSITION

Deux sources d'information ont permis d'identifier plusieurs épisodes de contamination par le tritium à la fois sur les sites de Saint-Maur-des-Fossés et de Bondoufle : d'une part, les entretiens réalisés avec les salariés des différentes entreprises qui ont permis de préciser les différents modes de fonctionnement de l'appareillage et leurs emplois du temps respectifs et d'autre part, les résultats des analyses radiotoxicologiques urinaires de certains salariés des différentes entreprises étant intervenues sur les deux sites et qui ont permis, par une signature biologique urinaire en tritium incontestable, de prouver l'existence d'expositions au tritium, insoupçonnées à l'origine.

3.1.1 Personnes impliquées dans l'incident dont les analyses urinaires ont permis la reconstitution des scénarios d'expositions

Certaines personnes impliquées dans l'incident ont permis de reconstituer les scénarios d'exposition à partir de leurs teneurs urinaires en tritium associées à leur présence sur les sites. Ce sont respectivement :

- le salarié de la société 2 MProcess dont la charge urinaire en tritium était la plus élevée,
- les 3 visiteurs de l'entreprise A : l'un a été présent sur le site de Bondoufle le 2 février 2010 (visiteur n° 1 dans la suite du rapport), le deuxième a été présent sur le site de Saint-Maur-des-Fossés le 20 Octobre 2010 (visiteur n° 2) et le troisième a été présent sur les 2 sites à ces deux dates (visiteur n° 3),
- les 2 visiteurs de l'entreprise B qui ont été présents sur le site de Saint-Maur-des-Fossés le 15 Octobre 2010 (visiteurs n° 4 et n° 5).

D'autres salariés et visiteurs de la société 2MProcess ont également été impliqués dans l'incident mais leurs analyses radiotoxicologiques urinaires, bien que positives en tritium, n'ont eu aucune incidence sur la reconstitution des scénarios. Ce sont les 5 autres salariés de la société 2MProcess, un visiteur de l'entreprise C (visiteur n° 6) et un visiteur de l'entreprise D (visiteur n° 7).

3.1.2. Calendrier et typologie des expositions

Les entretiens réalisés avec les salariés décrivant les essais entrepris sur le tamis moléculaire ont permis d'identifier deux types d'exposition :

- une exposition à de l'air susceptible d'être contaminé par de la vapeur d'eau tritiée (HTO vapeur) ;
- une exposition cutanée à de l'eau susceptible d'être tritiée (HTO liquide).

L'exposition cutanée résulte du fait qu'en maintes circonstances plusieurs opérateurs ont été amenés à mettre les mains dans l'eau pour résoudre des problèmes techniques (fuites au niveau de vannes, amorçage de pompes, manipulations de liquides dans les réservoirs, etc).

Le tamis moléculaire, appareillage à l'origine de l'émission de tritium, a été présent sur le site de Bondoufle de fin 2009 au 29 avril 2010 et sur le site de Saint-Maur-des-Fossés du 29 avril au 4 Novembre 2010, jour de la fermeture du site.

Des différents entretiens il ressort que 3 épisodes successifs d'exposition au tritium peuvent être distingués, le premier sur le site de Bondoufle, les deux autres sur le site de Saint-Maur-des-Fossés.

La figure 1 résume la chronologie et la typologie de ces épisodes :

- l'épisode 1 du 18 janvier au 2 février 2010 a été une exposition mixte (HTO vapeur et HTO liquide) sur le site de Bondoufle,
- l'épisode 2 de mai au 15 octobre 2010 a été une exposition uniquement gazeuse (HTO vapeur) sur le site de Saint-Maur-des-Fossés,
- l'épisode 3 du 18 octobre au 4 novembre a été une nouvelle exposition mixte (HTO vapeur et HTO liquide) sur le site de Saint-Maur-des-Fossés.

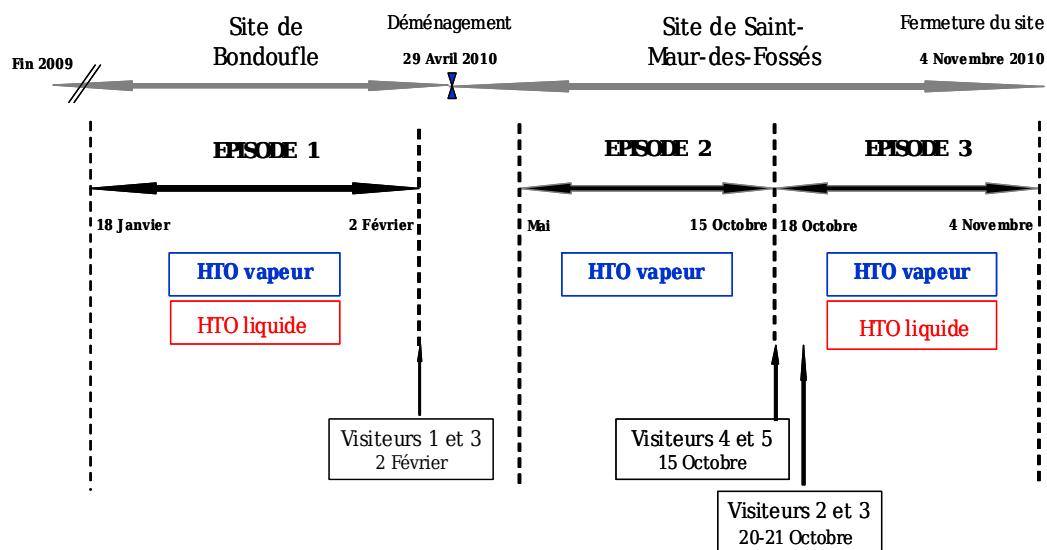


Figure 1 : Chronologie des différents épisodes de contamination au tritium sur les sites de Bondoufle et de Saint-Maur-des-Fossés

Les données radiotoxicologiques des urines des visiteurs d'entreprises extérieures (entreprises A et B) sur les sites de Bondoufle et de Saint-Maur-des-Fossés confirment ces scénarios d'exposition.

La figure 2 illustre l'évolution temporelle, sur une période de près d'un an, des niveaux d'activité urinaire en tritium (milliers de Bq/L) des 3 salariés de l'entreprise A ayant eu un suivi régulier dans le cadre de leur activité professionnelle, et qui ont séjourné 1 ou 2 jours, selon les cas, soit sur le site de Bondoufle (courbe bleue, visiteur n° 1), soit sur le site de Saint-Maur-des-Fossés (courbe verte, visiteur n° 2) soit sur les deux sites (courbe rouge, visiteur n° 3). **Les pics de ces différentes courbes signent la présence d'une exposition au tritium sur les deux sites, celle de Saint-Maur-des-Fossés étant très largement supérieure à celle de Bondoufle.**

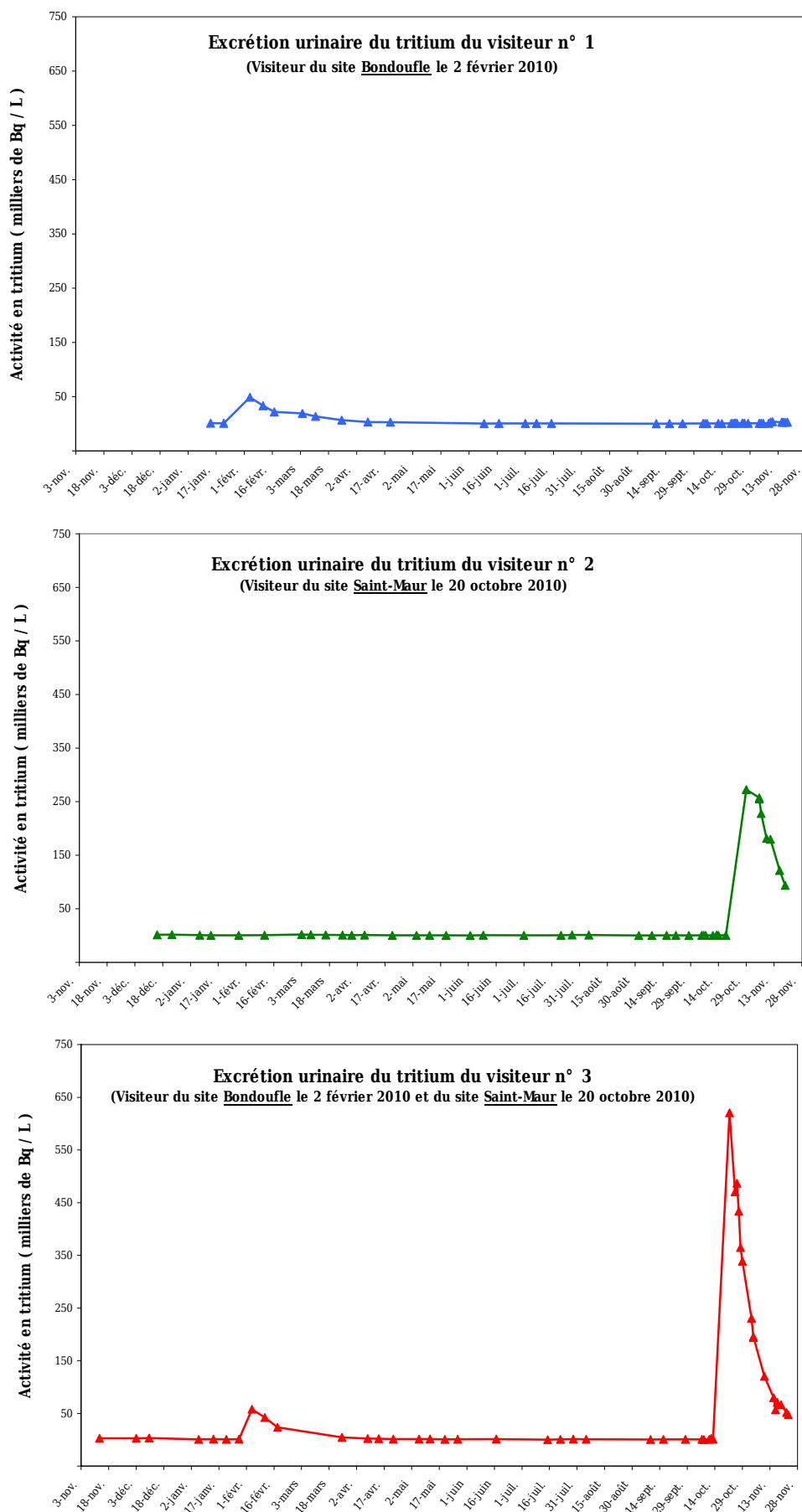


Figure 2 : Suivi radiotoxicologique urinaire en tritium des 3 salariés de l'entreprise A ayant visité les sites de Bondoufle et/ou de Saint-Maur-des-Fossés

Le tableau I présente les activités urinaires en tritium des 2 salariés de l'entreprise B (visiteurs 4 et 5) qui ont été présents sur le site de Saint-Maur-des-Fossés le 15 octobre et dont l'IRSN a fait prélever les urines après la survenue de l'incident.

Tableau I : Activités en tritium mesurées par l'IRSN sur les prélèvements urinaires des 2 salariés de l'entreprise B

Visiteurs entreprise B	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
n° 4	12/ 11/ 2010	916
	15/ 11/ 2010	689
n° 5	10/ 11/ 2010	606
	15/ 11/ 2010	430

Ces salariés sont intervenus sur le site de Saint-Maur-des-Fossés à une période où, selon les informations recueillies lors des entretiens avec les salariés de 2M Process, seule une contamination de l'air était possible, compte tenu des essais effectués de mai 2010 au 15 octobre 2010. **Cette activité urinaire en tritium correspond donc à une contamination par de la vapeur tritiée, seule, pendant cette période.**

4 EVALUATIONS DOSIMETRIQUES DES 3 EPISODES D'EXPOSITION AU TRITIUM

4.1 OUTILS METHODOLOGIQUES

L'analyse radiotoxicologique est la mesure de l'activité excrétée dans les urines ou les selles pendant une période d'échantillonnage. Dans le cas présent, l'activité du tritium dans l'échantillon urinaire est mesurée par la technique de scintillation liquide.

4.1.2 Définition de la Dose efficace

L'indicateur de risque pertinent pour évaluer l'impact sanitaire de l'exposition interne est la dose efficace engagée.

La dose efficace E telle que définie dans la réglementation par l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 est calculée, en sievert (Sv), comme étant la somme des doses absorbées $D_{T,R}$ reçues par les tissus les plus radiosensibles, pondérées par un facteur w_R représentatif de l'efficacité biologique relative du rayonnement R mis en jeu par rapport à une irradiation photonique de référence et par un facteur w_T

représentatif de la probabilité et de la gravité des effets stochastiques susceptibles d'être induits dans le tissu T (ICRP, 1990) : $E = \sum_T \sum_R w_T w_R D_{T,R}$.

Le caractère prolongé de la présence du radionucléide dans l'organisme après une contamination interne conduit à définir le concept de dose efficace engagée. Celle-ci est la somme des doses efficaces reçues pendant 50 ans après l'incorporation de radioactivité.

4.1.3 Modèle biocinétique

Les analyses radiotoxicologiques ne fournissent qu'une information ponctuelle sur l'activité excrétée au temps de la mesure. Pour reconstruire l'historique de la contamination et en déduire la dose engagée, il est nécessaire de prendre en compte la biocinétique du radionucléide depuis le moment de l'incorporation jusqu'au terme de la période d'engagement de dose. Les modèles biocinétiques décrivent les voies d'incorporation, les transferts au sang, la distribution, la rétention dans les organes ainsi que l'excrétion des radionucléides.

Dans le cas particulier de l'eau tritiée, le tritium se distribue rapidement et de façon homogène dans l'ensemble des fluides corporels. Suivant le modèle de référence de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), à partir duquel est calculée la valeur de dose efficace engagée par unité d'incorporation de tritium (arrêté du 1^{er} septembre 2003), 97% de l'activité en tritium est éliminée, comme l'eau, avec une période de 10 jours. Les 3% restant se fixent aux molécules organiques et sont éliminés avec une période plus longue, à savoir 40 jours (publication CIPR 67, 1993) correspondant au renouvellement du carbone dans le corps de l'homme de référence (publication CIPR 23, 1975). La répartition homogène du tritium dans les fluides corporels permet de déduire simplement sa rétention dans le corps entier à partir de la mesure de sa concentration dans l'urine exprimée en Bq par L, en la multipliant par le volume d'eau corporelle de l'homme de référence, soit 42 L.

Le suivi de cas de contamination humaine conforte le choix d'une période d'élimination rapide d'environ 10 jours pour plus de 90% de l'activité incorporée. En revanche, la cinétique d'élimination du tritium incorporé dans les molécules organiques est moins bien établie et fait toujours l'objet de discussions entre experts (tableau II). En particulier, quelques études semblent mettre en évidence une faible fraction de tritium organiquement lié et éliminé avec une période plus longue, de l'ordre d'une année. Pour prendre en compte ces études, D.M Taylor (2003) a proposé un nouveau modèle biocinétique pour l'eau tritiée prévoyant l'élimination de 0,02% du tritium avec une période d'un an et une valeur de dose efficace engagée par unité d'incorporation de $1,7 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq, voisine de celle de $1,8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq indiquée par l'arrêté du 1^{er} septembre 2003.

Dans le présent rapport, le délai entre les examens radiotoxicologiques effectués et les dates vraisemblables d'incorporation étant inférieur ou égal à un mois, le modèle de la publication 67 de la CIPR (1993) reste dans son domaine d'application. De plus, la valeur de dose efficace engagée par unité d'incorporation résultant de l'implémentation du modèle de Taylor (2003) étant légèrement inférieure à celle préconisée par l'arrêté du 1^{er} septembre 2003, cette dernière apparaît

raisonnablement prudente. En conséquence, le présent rapport s'appuie sur le modèle biocinétique de la publication 67 de la CIPR qui fait référence (1993).

Tableau II : Périodes de rétention du tritium chez l'homme après incorporation d'eau tritiée (Harrison et al. 2002)

Référence	Nombre de sujets	Période biologique (jours)		
		précoce	intermédiaire	tardive
Fallot et al., 1957	20	8,5	-	-
Pinson and Langham, 1957	9	11,3	-	-
Foy and Schneiden, 1960	10	7,5	-	-
Richmond et al., 1962	5	9,5	-	-
Wylie et al., 1963	7	8,5	-	-
Butler and Leroy, 1965	310	9,5	-	-
Osborne, 1966	30	10,5	-	-
Snyder et al., 1968	1	8,7	34	-
Sanders and Reinig, 1968	1	6,1	23	344
Minder, 1969	1	~11	30	139-230
Lambert et al., 1971	1	9,1	36	-
Moghissi et al., 1971, 1972	3	-	21-26	280-550
Henry, 1972	1	7,5	63	-
Balonov et al., 1974	5	12	39-76	-
Rudran, 1988	8	6,0	31-51	87-226
Trivedi et al., 1997	8	8,4	58-104	-

4.1.4 Evaluation dosimétrique à partir des mesures radiotoxicologiques

L'évaluation dosimétrique à partir d'une mesure d'activité excrétée comprend deux étapes :

- 1) l'estimation de l'activité incorporée I au jour de la contamination, qui s'obtient en divisant la valeur d'activité M mesurée t jours après l'incorporation par la valeur $m(t)$ de la fonction m de rétention ou d'excrétion de référence ;
- 2) le calcul de la dose efficace E , engagée sur 50 ans, obtenu en multipliant la valeur d'activité incorporée I par le coefficient de dose par unité incorporée e .

$$I = \frac{M}{m(t)} \quad E = I \times e$$

Une évaluation dosimétrique en situation de contamination accidentelle où notamment les conditions

d'exposition ne sont pas parfaitement établies, nécessite de rechercher le scénario d'exposition le plus vraisemblable.

La vraisemblance du modèle retenu au vu des résultats des mesures radiotoxicologiques peut être caractérisée par le khi carré, χ^2 , représentant l'écart entre les résultats de mesure observés et les prédictions du modèle selon la formule suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{[M_i - I \times m(t_i)]^2}{\sigma_i^2}$$

I désigne l'activité incorporée, M_i le résultat de mesure au temps t_i , $m(t_i)$ la prédiction du modèle pour l'activité mesurée au temps t_i . σ_i caractérise l'erreur associée à M_i .

L'estimation de l'incorporation et de la dose efficace engagée a été réalisée à l'aide du logiciel Integrated Modules for Bioassay Analysis® (IMBA) (Birchall et al. 1998). Ce logiciel utilise les modèles biocinétiques publiés par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

Le coefficient de dose efficace engagée est fixé dans la réglementation française (arrêté du 1^{er} septembre 2003).

4.2 EPISODE 1 : BONDOUFLE DU 18/01/2010 AU 02/02/2010

4.2.1 Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise A sur le site de Bondoufle

Faute de données radiotoxicologiques individuelles pour les salariés de 2M PROCESS (salariés n° 1, 2 et 3) correspondant à cet épisode, il n'est pas possible d'évaluer directement leur exposition sur le site de Bondoufle. Leur exposition peut cependant être évaluée à partir du suivi radiotoxicologique régulier des salariés de l'entreprise A présents à Bondoufle le 02/02/2010 et communiqués à l'IRSN (tableau III). Les résultats des analyses effectuées après cette date indiquent une contamination significative de l'ordre de 50 kBq/L dans les urines prélevées le 04/02/2010, alors que les mesures antérieures à cette date sont inférieures à 3000 Bq/L environ.

Ces résultats confirment donc l'épisode de contamination lors des manipulations sur le site de Bondoufle.

Les activités en tritium incorporées le 2 février 2010 par les salariés de l'entreprise A sur le site de Bondoufle sont de 4,8 MBq (visiteur n°1) et 3,8 MBq (visiteur n°3).

Les doses efficaces engagées des 2 salariés de l'entreprise A dues à leur présence sur le site de Bondoufle le 2 février 2010 sont respectivement de 86 µSv et 68 µSv.

Tableau III : Activités en tritium mesurées par l'entreprise A sur les prélèvements urinaires de ses salariés.

Salariés entreprise A	Date de prélèvement	Activité mesurée kBq/ L
Visiteur n° 1	04/ 02/ 2010	49
	11/ 02/ 2010	33
	17/ 02/ 2010	22
	04/ 03/ 2010	19
	11/ 03/ 2010	14
	25/ 03/ 2010	6,9
	08/ 04/ 2010	3,3
	20/ 04/ 2010	3
Visiteur n° 3	04/ 02/ 2010	58
	11/ 02/ 2010	42
	18/ 02/ 2010	24
	25/ 03/ 2010	4,4
	08/ 04/ 2010	2,3
	14/ 04/ 2010	2
	22/ 04/ 2010	1,1

4.2.2 Evaluation dosimétrique pour les salariés de 2M Process sur le site de Bondoufle

La dose efficace engagée est égale au produit de l'incorporation journalière par le nombre de jours de présence des salariés de 2MProcess sur le site de Bondoufle et par le coefficient de dose du tritium. En retenant la valeur la plus élevée, correspondant au visiteur n° 1, une approximation de l'incorporation de tritium par les salariés de 2MProcess lors de l'épisode Bondoufle serait de 4,8 MBq/jour.

Le tableau IV présente les nombres de jours de présence des salariés de 2M Process et les doses efficaces engagées ainsi calculées.

Tableau IV : Nombres de jours de présence des salariés de 2M Process sur le site de Bondoufle du 18/ 01/ 2010 au 02/ 02/ 2010 et doses efficaces engagées correspondantes

Salarié 2M Process	Nombre de jours de présence	Dose efficace engagée (mSv)
n° 1	1	0,09
n° 2	5	0,43
n° 3	6	0,52

Les doses efficaces engagées estimées pour les 3 salariés de 2M Process dues à leur présence sur le site de Bondoufle sont comprises entre 0,09 et 0,5 mSv.

4.3 EPISODE 2 : SAINT-MAUR-DES-FOSSES DU 29/04/2010 AU 15/10/2010

Comme précédemment, l'exposition pendant cet épisode peut être approximée à partir des données des personnes de passage (entreprises partenaires) dans les locaux de 2M Process, à savoir l'entreprise E et l'entreprise B.

4.3.1 Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise E sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Les analyses radiotoxicologiques des 2 salariés de l'entreprise E (visiteurs 8 et 9) présents moins d'une journée sur le site de Saint-Maur-des-Fossés le 16/09/2010 indiquent des activités urinaires inférieures à la limite de détection de 50 Bq/L.

4.3.2 Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise B sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Les deux salariés de l'entreprise B de passage à Saint-Maur-des-Fossés le 15/ 10/ 2010 présentent une contamination urinaire positive (tableau I). L'activité en tritium incorporée lors de leur visite le 15

octobre 2010 est estimée respectivement à 0,24 MBq pour le visiteur n°4 et 0,15 MBq pour le visiteur n°5.

Les doses efficaces engagées des 2 salariés de l'entreprise B sont respectivement de 4,4 µSv et 2,7 µSv.

4.3.3 Evaluation dosimétrique pour les salariés de 2M Process sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Bien que les résultats des urines des personnes présentes en septembre 2010 ne corroborent pas ceux des personnes présentes en octobre, il a été retenu le scénario majorant d'une exposition chronique entre le 29 avril 2010 et le 15 octobre 2010, compte tenu de l'existence d'essais réalisés courant mai 2010 et mettant en jeu uniquement de l'eau tritiée sous forme vapeur.

En retenant la valeur la plus élevée, correspondant au visiteur n°4, une approximation de l'incorporation de tritium par les salariés de 2M Process lors de cet épisode à Saint-Maur-des-Fossés serait de 0,24 MBq/jour.

Les doses efficaces engagées peuvent être ainsi estimées à partir du nombre de jours de présence des salariés durant cette période, indiqué dans le tableau V.

Tableau V : Nombres de jours de présence des salariés de 2M Process sur le site de Saint-Maur-des-Fossés du 29/04/2010 au 15/10/2010 et doses efficaces engagées correspondantes.

Salariés 2M Process	Nombre de jours de présence	Dose efficace engagée (mSv)
n°1	68	0,30
n°2	112	0,49
n°3	107	0,47
n°4	89	0,39
n°5	107	0,47
n°6	17	0,07

Les doses efficaces engagées estimées pour les 6 salariés de 2M Process dues à leur présence sur le site de Saint-Maur-des-Fossés du 29/04/2010 au 15/10/2010 sont comprises entre 0,07 et 0,49 mSv.

4.4 EPISODE 3 : SAINT-MAUR-DES-FOSSES DU 18/10/2010 AU 04/11/2010

4.4.1 Evaluation dosimétrique pour les salariés de 2M Process sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Les doses engagées correspondant à cet épisode ont été évaluées directement à partir des résultats des mesures radiotoxicologiques urinaires disponibles.

Ces mesures, réalisées par le Laboratoire d'analyses biologiques médicales du CEA Valduc et le laboratoire d'analyses médicales radiotoxicologiques de l'IRSN sur les prélèvements urinaires fournis par les salariés de l'entreprise 2MProcess, sont présentés en annexe 2 dans les tableaux I à VI.

Le salarié de 2M Process ayant l'activité urinaire en tritium la plus élevée est le salarié n°1. L'évolution temporelle de la courbe d'élimination urinaire du tritium de ce salarié est en faveur d'une incorporation aiguë le 18 octobre plutôt que d'une exposition chronique entre le 29 avril et le 3 novembre 2010. En effet, comme l'illustre la figure 3, les valeurs de tritium urinaire (triangles bleus) présentent un meilleur ajustement avec la courbe d'élimination théorique du modèle d'exposition aiguë (courbe rouge) par rapport à celle du modèle d'exposition chronique (courbe pointillée). En effet, le test statistique du khi carré (page 10) permet de valider la première hypothèse ($p = 97,4 \%$) par rapport à la seconde ($p = 2,4 \%$).

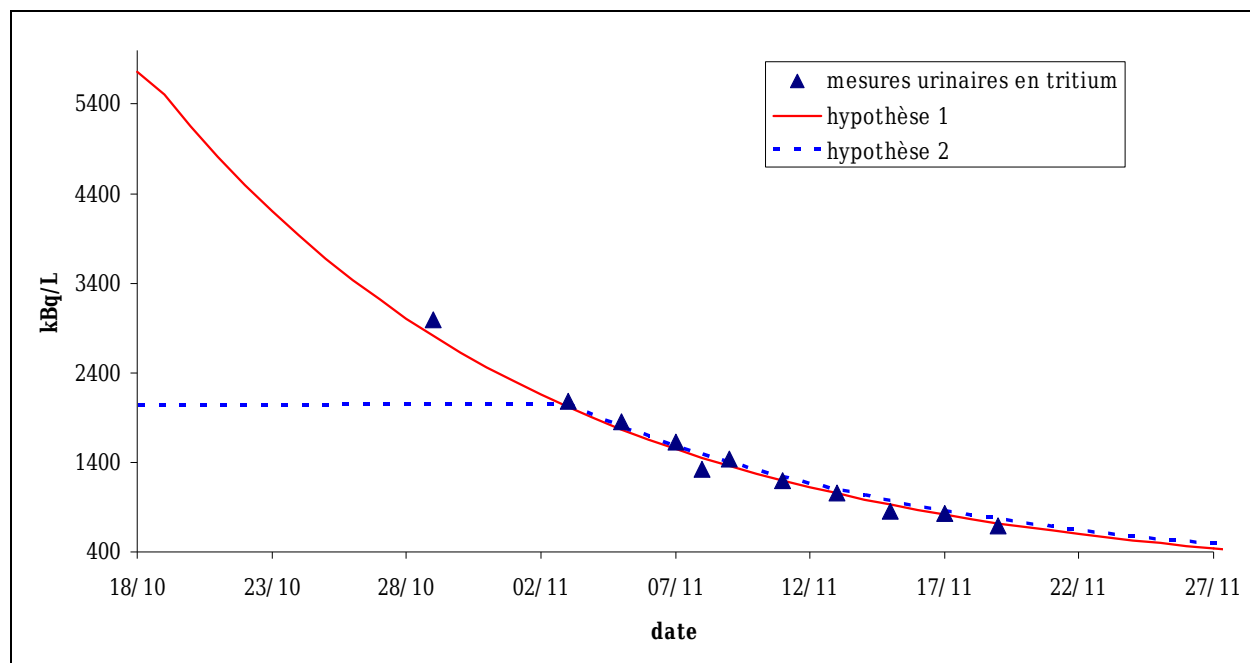


Figure 3 : Comparaison de la prévision des 2 modèles biocinétiques d'exposition aiguë et chronique avec les mesures radiotoxicologiques des urines du salarié n°1 de 2MProcess. Hypothèse 1 : contamination aiguë le 18/10/2010. Hypothèse 2 : contamination chronique du 29/04/2010 au 03/11/2010.

En conséquence, l'hypothèse d'une exposition aiguë pour le troisième épisode à Saint-Maur-des-Fossés a été retenue pour l'évaluation dosimétrique des salariés de 2M Process. De manière prudente, il a été admis que cette exposition aiguë s'est produite pour l'ensemble des salariés de 2M Process le premier jour de leur présence dans les locaux de 2M Process à partir du 18/10/2010, hypothèse la plus pénalisante en terme de dose.

Les doses efficaces engagées ainsi estimées pour les 6 salariés de 2M Process dues à leur présence sur le site de Saint-Maur-des-Fossés du 18/10/2010 au 04/11/2010, rassemblées dans le tableau VI, sont comprises entre 0,1 et 4,4 mSv.

Tableau VI : Doses efficaces engagées pour les salariés de 2M Process correspondant à l'épisode 3 sur le site de Saint-Maur-des-Fossés entre le 18/10/2010 et le 03/11/2010.

Salariés	Doses efficaces engagées (mSv)
n° 1	4,4
n° 2	3,7
n° 3	2,8
n° 4	0,10
n° 5	0,62
n° 6	0,62

4.4.2 Evaluation dosimétrique pour le salarié de l'entreprise C sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Le salarié de l'entreprise C (visiteur n°6) a été présent sur le site le 21 octobre 2010 mais également le 15 septembre. La date de contamination retenue comme la plus vraisemblable est le 21 octobre 2010.

Les résultats des analyses urinaires sont rassemblés dans le tableau VII.

La dose efficace engagée correspondant à cette contamination a été évaluée à 42 μ Sv.

Tableau VII : Activités en tritium mesurées par l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié de l'entreprise C

Salarié entreprise C	Date de début de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
Visiteur n° 6	12/ 11/ 2010	11855
	15/ 11/ 2010	10000
	16/ 11/ 2010	9638

4.4.3 Evaluation dosimétrique pour le salarié de l'entreprise D sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Pour le salarié de l'entreprise D (visiteur n° 7) en visite sur le site le 25/ 10/ 2010, l'activité urinaire en tritium à partir d'un prélèvement effectué le 20/ 11/ 2010 est égale à 3321 Bq/ L.

La dose efficace engagée correspondant à une contamination aiguë lors de sa visite a été évaluée à 14 μ Sv.

4.4.4 Evaluation dosimétrique pour les salariés de l'entreprise A sur le site de Saint-Maur-des-Fossés

Pour les deux salariés de l'entreprise A présents sur le site de Saint-Maur-des-Fossés les 20 et 21 octobre, l'hypothèse retenue est celle d'une incorporation le premier jour de leur présence, soit le 20/ 10/ 2010. Les résultats des analyses urinaires sont représentés sur la figure 1.

Les doses efficaces engagées évaluées pour ces deux salariés sont respectivement de 0,40 mSv pour le visiteur n° 3 et à 0,51 mSv pour le visiteur n° 2.

5 BILAN DES EVALUATIONS DOSIMETRIQUES

Le tableau VIII dresse le bilan des évaluations dosimétriques pour les salariés de 2M Process et ceux de leurs clients et partenaires étant intervenus sur les sites de Saint-Maur-des-Fossés et de Bondoufle.

Tableau VIII : Synthèses des évaluations dosimétriques pour les salariés de 2M Process et des entreprises A, B, C, D et E.

Entreprises	Salariés/Visiteurs	Doses efficaces engagées (mSv)			Total
		Bondoufle 18/01/2010 au 02/02/2010	Saint-Maur 29/04/2010 au 15/10/2010	Saint-Maur 18/10/2010 au 04/11/2010	
2M Process	Salarié n° 1	0,09	0,30	4,4	4,8
	Salarié n° 2	0,43	0,49	3,7	4,6
	Salarié n° 3	0,52	0,47	2,8	3,8
	Salarié n° 4	-	0,39	0,10	0,49
	Salarié n° 5	-	0,47	0,61	1,1
	Salarié n° 6	-	0,07	0,62	0,69
Entreprise A	Visiteur n° 1	0,086	-	-	0,086
	Visiteur n° 2	-	-	0,51	0,51
	Visiteur n° 3	0,068	-	0,40	0,47
Entreprise B	Visiteur n° 4	-	0,0044	-	0,0044
	Visiteur n° 5	-	0,0027	-	0,0027
Entreprise C	Visiteur n° 6	-	-	0,042	0,042
Entreprise D	Visiteur n° 7	-	-	0,014	0,014
Entreprise E	Visiteurs n° 8 et 9		0		0

Les doses efficaces engagées des 6 salariés de l'entreprise 2M Process sont comprises entre 0,49 et 4,8 mSv. Les doses efficaces engagées des visiteurs sur les sites de Bondoufle et de Saint-Maur-des-Fossés qui ont eu des analyses urinaires positives en tritium, sont comprises entre 2,7 µSv et 0,51 mSv.

6 RECOMMANDATIONS

6.1 RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE DE BONDOUFLE

Les évaluations dosimétriques des salariés de 2M Process liées à leur séjour sur le site de Bondoufle présentent une plus grande incertitude que celles liées à leur activité sur le site de Saint-Maur-des-Fossés, en raison de l'ancienneté des expositions.

Les évaluations dosimétriques présentées dans ce rapport ont été réalisées sur la base des informations disponibles à ce jour. Les doses pourraient être secondairement réévaluées si les investigations environnementales qui se poursuivent venaient à apporter de nouvelles données. Aux vues des données actuellement disponibles, L'IRSN estime à ce jour que l'épisode de Bondoufle se caractérise par une plus faible exposition qu'à Saint-Maur-des-Fossés. L'IRSN recommande que des analyses urinaires soient effectuées chez des salariés permanents du site de Bondoufle.

6.2 RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE SUIVI RADIOTOXICOLOGIQUE DES SALARIÉS

En raison de la double période biologique du tritium (10 jours pour l'eau tritiée et 40 jours pour le tritium organiquement lié) l'IRSN recommande de prolonger la surveillance des salariés de 2M Process par une mesure radiotoxicologique urinaire biannuelle pour préciser la cinétique d'élimination à long terme de la fraction du tritium liée aux molécules organiques chez ces salariés.

6.3 RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'ÉVALUATION DU RISQUE SANTITAIRE LIÉ À UNE CONTAMINATION AU TRITIUM

En référence au « Livre blanc du tritium » fruit des réflexions d'un groupe de travail mené de mai 2008 à avril 2010 sous l'égide de l'ASN, le collège de l'ASN fait part de la position suivante à propos de l'estimation de l'impact du tritium :

« Certaines études évoquent une possible sous-estimation de l'efficacité biologique relative du rayonnement du tritium. L'ASN demandera à la CIPR (Commission internationale de protection radiologique) de réexaminer la valeur du facteur de pondération (WR) du tritium dans le calcul des doses efficaces. Sans attendre la réponse de la CIPR, l'ASN demandera aux exploitants que les études d'impact radiologique de leurs projets soient accompagnées d'une étude critique comportant une variante prenant en compte un facteur de pondération WR de 2. »

Si une telle approche était appliquée à cette évaluation d'impact incidentel, les doses efficaces engagées des 6 salariés de l'entreprise 2M Process devraient être multipliées par 2 et seraient alors comprises entre 1 et 9,6 mSv. Celles des visiteurs sur les sites de Bondoufle et de Saint-Maur-des-Fossés seraient comprises entre 5,4 µSv et 1 mSv.

En tout état de cause, cette approche consistant à doubler la valeur de pondération W_R devrait s'appliquer, selon l'IRSN, en situation incidentelle ou accidentelle pour des niveaux de dose significatifs en terme de risque sanitaire. En pratique cela signifie que le facteur de pondération devrait être doublé lorsque la dose efficace engagée ainsi estimée est supérieure à 100 mSv (domaine de mise en évidence d'un excès significatif de cancer par les études épidémiologiques), ce qui n'est pas le cas pour les contaminations faisant l'objet de ce rapport. Pour les doses efficaces engagées inférieures à 100 mSv et supérieures à 10 mSv (domaine des faibles doses selon l'UNSCEAR) la question du doublement du W_R devrait être discutée au cas par cas en fonction du passé dosimétrique du sujet impliqué et de sa radiosensibilité notamment liée à l'âge. Pour les très faibles doses, c'est-à-dire les doses inférieures à 10 mSv, voire les doses triviales inférieures à 10 μ Sv, le doublement du W_R ne se justifie pas car il n'est pas de nature à modifier significativement l'extrême faiblesse du risque.

7 REFERENCES

Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants (J.O. n°262 du 13 novembre 2003 p.19326).

Balonov, M. I., Dolgirev, E. I. and Likhtarev, I. A. Exchange Kinetics and Dosimetry of Tritium Oxide in Man for Different Routes of Administration. *Health Phys.* 27, 367-375 (1974).

Birchall A., Jarvis N.S., Peace M.S., Riddell A.E. and Battersby W.P. The IMBA Suite: Integrated Modules for Bioassay Analysis *Radiat. Prot. Dosim.* 79: 107-110 (1998).

Butler, H. L. and Leroy, J. H. Observation of Biological Half-life of Tritium. *Health Phys.* 11, 283-285 (1965).

Fallot, P., Aeberhardt, A. and Masson, J. Methode de Dosage de l'Eau Tritide et ses Applications en Clinique Humaine. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 1, 237-245 (1957).

Foy, J. M. and Schneiden, H. Estimation of Total Body Water (Virtual Tritium Space) in the Rat, Cat, Rabbit, Guinea-pig and Man, and the Biological Half-time of Tritium in Man. *J. Physiol.* 154, 169-176 (1960).

Harrison J.D., Khursheed A, Lambert B.E. Uncertainties in dose coefficients for intakes of tritiated water and organically bound forms of tritium by members of the public. *Radiat Prot Dosimetry* 98(3):299-311 (2002).

Henry, P. Etude d'une Contamination Accidentale par l'Eau Tritiee'. In: Assessment of Radioactive Contamination in Man (Vienna: International Atomic Energy Agency) pp. 641-657, STI/PUB/ 290 (1972).

International Commission on Radiological Protection. Reference Man. Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics. Publication 23 (Oxford: Pergamon Press) (1975).

International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Vol. 21, N° 1-3 (1991).

International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67, Annals of the ICRP, 23(3/4), Pergamon Press, Oxford (1993).

International Commission on Radiological Protection. Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88, Annals of the ICRP, 31(1-3), Pergamon Press, Oxford (2001).

International Commission on Radiological Protection. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Annals of the ICRP 32(3/4) (2002).

Lambert, B. E., Sharpe, H. B. A. and Dawson, K. B. An Accidental Intake of Tritiated Water. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 32, 682-686 (1971).

Minder, W. Internal Contamination with Tritium. Strahlentherapie 137, 700-704 (1969).

Moghissi, A. A., Carter, M. W. and Lieberman, R. Long-term Evaluation of the Biological Half-life of Tritium. Health Phys. 21, 57-60 (1971).

Moghissi, A. A., Carter, M. W. and Lieberman, R. Further Studies on the Long-term Evaluation of the Biological Half-life of Tritium. Health Phys. 23, 805-806 (1972).

Osborne, R. V. Absorption of Tritiated Water Vapour by People. Health Phys. 12, 1527-1537 (1966).

Pinson, E. A. and Langham, W. H. Physiology and Toxicology of Tritium in Man. Health Phys. 38, 1087-1110 (1980).

Richmond, C. R., Langham, W. H. and Trujillo, T. T. Comparative Metabolism of Tritiated Water by Mammals. J. Cell. Comp. Physiol. 59, 45-53 (1962).

Rudran, K. Significance of in vivo Organic Binding of Tritium following Intake of Tritiated Water. Radiat. Prot. Dosim. 25, 5-13 (1988).

Sanders, S. M. and Reining, W. C. Assessment of Tritium in Man. In: Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides (Amsterdam, The Netherlands: Excerpta Medica Foundation) pp. 534-542 (1968).

Snyder, W. S., Fish, B. R., Bernard, S. R., Ford, M. R. and Muir, J. R. Urinary Excretion of Tritium following Exposure of Man to HTO — a Two Exponential Model. *Phys. Med. Biol.* 13, 547-559 (1968).

Taylor DM. A biokinetic model for predicting the retention of ^3H in the human body after intakes of tritiated water. *Radiat Prot Dosimetry* 105(1-4):225-8 (2003).

Trivedi, A., Galeriu, D. and Richardson, R. B. Dose Contribution from Organically Bound Tritium after Acute Tritiated Water Intake by Humans. *Health Phys.* 73, 579-586 (1997).

Wylie, K. F., Bigler, W. A. and Grove, G. R. Biological Half-life of Tritium. *Health Phys.* 9, 911-914 (1963).

Annexe 1

Saisine de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

Direction des installations de recherche
et des déchets

Paris, le 5 novembre 2010

Réf : CODEP-DRD-2010-060150
Affaire suivie par : Lydie EVRARD
Tél : 01 43 19 70 01
Fax : 01 43 19 71 66
Mel : lydie.evrard@asn.fr

Le Président de l'ASN

à

Monsieur le directeur général de l'Institut de
radioprotection et de sûreté nucléaire

A l'attention du directeur de la Direction de l'Expertise Nucléaire de Défense

Objet : Incident – Contamination de salariés de l'entreprise 2M Process sise 22, rue Parmentier à Saint-Maur – La Varenne Saint-Hilaire (94)

Codification importance – urgence : A

Le 3/11/10, le CEA a informé les autorités de contrôle de la contamination d'un salarié de l'entreprise 2M Process, détectée lors d'un dépistage de routine, effectué sur le site de Valduc, dans le cadre des contrôles préalables à la réalisation d'opérations.

La manipulation d'un équipement destiné à des tests de procédé, transféré depuis le site de Valduc vers le site 2M Process de Saint-Maur (94) a été identifiée comme étant à l'origine de cette contamination. En effet, cet ensemble n'avait pas été considéré comme contaminé avant de sortir du site CEA.

Les premiers contrôles effectués par le CEA ont montré que plusieurs salariés ont été contaminés. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour identifier l'ensemble des personnes qui auraient pu être contaminées compte tenu des opérations effectuées dans les locaux de la société 2M Process, et pour vérifier l'état radiologique de ces locaux.

A : Sujet à délai impératif
B : Sujet à délai objectif
C : Sujet à délai indicatif

www.asn.fr

6, place du Colonel Bourgoin · 75572 Paris cedex 12
Téléphone 01 40 19 86 00 · Fax 01 40 19 86 69

1/2

Je vous demande donc de bien vouloir faire réaliser les actions suivantes et m'en transmettre les résultats dès que possible :

- Réaliser le recensement des personnes qui auraient pu être contaminées ;
- Effectuer les analyses nécessaires pour chacune de ces personnes afin d'évaluer les niveaux de contamination ;
- Vérifier l'état radiologique de l'ensemble des locaux.

Par ailleurs, il est apparu que l'équipement avait transité plusieurs mois sur le site de la Société Etude et diffusion, sise 3 rue Gustave Eiffel à Bondoufle (91), avant de parvenir sur le site de la société 2M Process à Saint-Maur. Compte tenu des opérations effectuées en début d'année 2010 sur ce site, je vous demande également de procéder à la vérification de l'état radiologique des locaux de la société Etude et diffusion, où le montage du process et des tests ont été réalisés.

**Pour le Président de l'ASN et par délégation
La directrice des installations de recherche
et des déchets**


Lydie ÉVRARD

Copies :
DSND : B Maillot
DG : JCN, JLL
DRD : LE
Division de Paris : ML

Annexe 2 :

Résultats des analyses radiotoxicologiques des salariés de 2M PROCESS

Tableau I : Activité en tritium mesurées par le CEA et l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié n°1

Laboratoire	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
CEA	29/ 10/ 2010	2994500
CEA	03/ 11/ 2010	2080600
IRSN	04/ 11/ 2010	1860000
CEA	05/ 11/ 2010	1658000
IRSN	06/ 11/ 2010	1626560
CEA	08/ 11/ 2010	1326800
IRSN	08/ 11/ 2010	1440860
IRSN	10/ 11/ 2010	1199770
IRSN	12/ 11/ 2010	1055700
CEA	15/ 11/ 2010	859000
CEA	17/ 11/ 2010	832100
CEA	19/ 11/ 2010	687400

Tableau II : Activité en tritium mesurées par le CEA et l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié n°2

Laboratoire	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
CEA	03/ 11/ 2010	2082100
IRSN	04/ 11/ 2010	1780000
CEA	05/ 11/ 2010	1584400
IRSN	07/ 11/ 2010	1406580
CEA	08/ 11/ 2010	1156400
IRSN	08/ 11/ 2010	1221360
CEA	10/ 11/ 2010	1074200
IRSN	10/ 11/ 2010	1021640
CEA	12/ 11/ 2010	879300
IRSN	12/ 11/ 2010	831457
CEA	15/ 11/ 2010	682400
CEA	17/ 11/ 2010	561900
CEA	19/ 11/ 2010	461400

Tableau III : Activité en tritium mesurées par le CEA et l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié n° 3

Laboratoire	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
CEA	03/ 11/ 2010	1400000
IRSN	04/ 11/ 2010	1170000
CEA	05/ 11/ 2010	1089200
IRSN	07/ 11/ 2010	1008140
CEA	08/ 11/ 2010	850800
IRSN	08/ 11/ 2010	849360
CEA	10/ 11/ 2010	759500
IRSN	10/ 11/ 2010	756526
CEA	12/ 11/ 2010	650000
IRSN	13/ 11/ 2010	591312
CEA	19/ 11/ 2010	415200

Tableau IV : Activité en tritium mesurées par le CEA et l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié n° 4

Laboratoire	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
CEA	03/ 11/ 2010	81500
IRSN	04/ 11/ 2010	100000
CEA	05/ 11/ 2010	89500
IRSN	06/ 11/ 2010	83696
CEA	08/ 11/ 2010	65100
IRSN	08/ 11/ 2010	72904
CEA	10/ 11/ 2010	56200
IRSN	10/ 11/ 2010	66475
IRSN	11/ 11/ 2010	62398
CEA	12/ 11/ 2010	50000
IRSN	12/ 11/ 2010	44305
CEA	15/ 11/ 2010	27800

Tableau V : Activité en tritium mesurées par le CEA et l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié n°5

Laboratoire	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
CEA	03/ 11/ 2010	309500
IRSN	04/ 11/ 2010	317000
CEA	05/ 11/ 2010	312200
IRSN	06/ 11/ 2010	293198
IRSN	08/ 11/ 2010	248624
CEA	08/ 11/ 2010	260400
IRSN	10/ 11/ 2010	227092
CEA	12/ 11/ 2010	204700
IRSN	12/ 11/ 2010	197993
CEA	15/ 11/ 2010	169800
CEA	17/ 11/ 2010	156900

Tableau VI : Activité en tritium mesurées par le CEA et l'IRSN sur les prélèvements urinaires du salarié n°6

Laboratoire	Date de prélèvement	Activité mesurée Bq/ L
CEA	03/ 11/ 2010	431000
IRSN	04/ 11/ 2010	342000
CEA	05/ 11/ 2010	332700
IRSN	06/ 11/ 2010	263063
CEA	08/ 11/ 2010	207700
IRSN	08/ 11/ 2010	202671
CEA	10/ 11/ 2010	177500
IRSN	10/ 11/ 2010	163606
IRSN	12/ 11/ 2010	132249