

octobre 2009

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

ED 4305

32
15 **P**

Phosphore-32

- ▷ Émetteur β^- (énergie maximale de 1,7 MeV)
- ▷ Période physique = 14,3 jours
- ▷ Organes cibles = appareil gastro-intestinal et tissu osseux

- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures de débit de dose ambiant (radiamètre) et de contamination surfacique (contaminamètre et frottis)
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive (poitrine et extrémités)
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxicologique urinaire

Le phosphore est un solide à température ambiante. Le phosphate est de loin sa forme chimique la plus répandue. Le phosphore est également présent sous forme d'acide phosphorique.

1. CARACTÉRISTIQUES

Origine

Le phosphore-32 est une substance radioactive artificielle obtenue par bombardement neutronique de phosphore stable [$^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$].

Propriétés radiophysiques

Période radioactive : 14,3 jours

Le phosphore-32 est un émetteur β^- pur de haute énergie, dont le spectre continu a pour énergie maximale 1,7 MeV et pour énergie moyenne 0,7 MeV.

Cette fiche fait partie d'une série qui se rapporte à l'utilisation de radionucléides en sources non scellées.

L'objectif n'est pas de se substituer à la réglementation en vigueur, mais d'en faciliter la mise en œuvre en réunissant sur un support unique, pour chaque radionucléide, les informations les plus pertinentes ainsi que les bonnes pratiques de prévention à mettre en œuvre.

Ces fiches sont réalisées à l'intention des personnes en charge de la radioprotection : utilisateurs, personnes compétentes en radioprotection, médecins du travail.

Sous ces aspects, chaque fiche traite :

1. des propriétés chimiques, radiophysiques et biologiques,
2. des utilisations principales,
3. des paramètres dosimétriques,
4. du mesurage,
5. des moyens de protection,
6. de la délimitation et du contrôle des locaux,
7. du classement, de la formation et de la surveillance du personnel,
8. des effluents et déchets,
9. des procédures administratives d'autorisation et déclaration,
10. du transport,
11. de la conduite à tenir en cas d'incident ou d'accident.

Produit de filiation	$^{32}_{16}\text{S}$
Équation	$^{32}_{15}\text{P} \xrightarrow{\beta^-} ^{32}_{16}\text{S} \text{ stable}$

Propriétés biologiques

Le métabolisme du phosphore est complexe. Le modèle biocinétique adopté par la CIPR stipule que 30 % de l'activité incorporée se fixent sur l'os d'où ils sont éliminés par décroissance radioactive. Les 70 % restants se distribuent dans les tissus mous et sont éliminés de la manière suivante : 20 % avec une période biologique de 12 heures, 20 % avec une période biologique de deux jours et 60 % avec une période biologique de 19 jours.

2. UTILISATIONS

Le phosphore-32 est parmi les émetteurs β^- communément utilisés en recherche celui d'énergie la plus élevée. Son utilisation en biologie moléculaire s'est largement répandue par l'emploi de nucléotides de haute activité spécifique pour marquer l'ADN. Les activités mises en jeu sont de l'ordre de 700 kBq.

Le phosphore-32 peut également être utilisé dans des réactions de phosphorylation : l'activité employée est alors de 50 à 200 MBq. Plus ponctuellement, il est utilisé lors de l'étude de la migration des engrais (phosphates) dans les sols.

Dans le domaine médical, le phosphore-32 a été utilisé avec des activités de 100 à 200 MBq pour le traitement des polyglobulies, mais ceci est de plus en plus rare.

Dans le domaine de l'industrie, le phosphore-32 n'est pas utilisé.

3. PARAMÈTRES DOSIMÉTRIQUES

Exposition externe ⁽¹⁾

Les données dosimétriques ci-après sont obtenues par le calcul, en l'absence de toute protection.

Les *tableaux II, III et IV* donnent, pour une activité de 1 MBq, le débit d'équivalent de dose, exprimé en $\mu\text{Sv/h}$, en fonction de la distance dans différentes configurations.

Les grandeurs $\dot{H}_p(0,07)$ et $\dot{H}_p(10)$ correspondent respectivement aux débits d'équivalent de dose à la peau et au corps entier.

1 Les débits d'équivalent de dose $\dot{H}_p(0,07)$ et $\dot{H}_p(10)$ ont été calculés avec un code Monte-Carlo (MCNPX).

2 Pour l'exposition des mains tenant la source, seule la valeur $\dot{H}_p(0,07)$ est pertinente.

3 Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Les valeurs inférieures à $1.10^{-2} \mu\text{Sv.h}^{-1}.\text{MBq}^{-1}$ n'ont pas été reportées.

▼ Source ponctuelle

Tableau II

	Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^1$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet	Sans objet	Sans objet

▼ Flacon de 10 ml en verre standard rempli au tiers

Tableau III

	Débit d'équivalent de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq	
	Tenu en main	Sous le flacon	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$6,9 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^3$	2,0	$3,7 \cdot 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet	Sans objet

▼ Seringue pleine

Tableau IV

	Débit d'équivalent de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq (seringue de 5 ml)		
	Seringue 2 ml	Seringue 5 ml	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$8,6 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^2$	Sans objet	Sans objet
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet	Sans objet	Sans objet

Contamination cutanée

Une contamination cutanée de 1 MBq par cm^2 délivre un débit d'équivalent de dose [$\dot{H}_p(0,07)$] de l'ordre de $1,7 \cdot 10^3 \text{ mSv/h}$.

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

▼ Doses efficaces engagées sur 50 ans à la suite d'une incorporation de 1 Bq, (DPUI) pour les travailleurs de plus de 18 ans ⁽³⁾

Tableau V

Forme	Inhalation de 1 Bq (forme particulaire : par défaut aérosol de 5 μm)		Ingestion de 1 Bq
	Dose efficace engagée (μSv)		
	Type F	Type M	
Composés non spécifiés	$1,1 \cdot 10^{-3}$	sans objet	$2,4 \cdot 10^{-3}$
Certains phosphates	Sans objet	$2,9 \cdot 10^{-3}$	

Compte tenu de la période effective du phosphore-32, les doses engagées sur un an sont identiques à celles engagées sur 50 ans.

Exposition interne due à une contamination chronique

Pour 1 Bq/jour pendant n jours ($n \gg 14$ jours), multiplier les valeurs précédentes par n (hypothèse linéaire).

4. DÉTECTION ET MESURES

▽ Mesures de surveillance à réaliser

Tableau VI

	Appareil de mesure	Mise en œuvre
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$)	Radiamètre équipé d'une sonde bêta	En routine En cas d'incident
Recherche de points de contamination	Sonde bêta	Après chaque manipulation En cas d'incident
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm^2)	Sonde bêta ou frottis	En routine En cas d'incident
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m^3)	Mesure par prélèvement sur filtre	Si le risque de contamination est avéré

Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$)

Le débit d'équivalent de dose ambiant peut être mesuré grâce à un radiamètre équipé d'une sonde bêta.

Mesure de la contamination surfacique (Bq/cm^2)

La mesure d'une contamination surfacique peut être réalisée :

- soit directement avec un contaminamètre donnant une lecture en Bq/cm^2 . Veiller à ce que l'appareil soit étalonné, contrôlé et adapté à la mesure du phosphore-32. En cas de doute, contacter le constructeur ;
- soit par la mesure d'un taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde bêta que l'on applique sur la surface à contrôler ;
- soit indirectement par un frottis (qui est ensuite compté par une sonde bêta) en ayant pris soin de définir une surface standard et un rendement de frottis représentatif des conditions de prélèvement. Dans tous les cas, la surface du frottis doit être égale ou inférieure à la surface du détecteur. L'utilisation du frottis est délicate compte tenu de la difficulté de proposer une valeur précise de rendement. Dans le cas où celui-ci ne peut pas être évalué, il est suggéré de retenir la valeur de 10 % telle qu'indiquée dans la norme NF-ISO 7503-1 relative à l'évaluation de la contamination de surface.

La mesure par frottis complète souvent la mesure directe pour distinguer une contamination labile d'une contamination fixée, ou en présence d'un environnement défavorable (rayonnement ambiant perturbant la mesure, géométrie non adaptée à la mesure directe...).

Relation entre le taux de comptage et l'activité surfacique

$$A_s = \frac{n}{R_d \times S \times K}$$

où A_s est l'activité surfacique en Bq/cm^2
 n est le taux de comptage en impulsions par seconde
 R_d est le rendement de détection de la sonde en % (sous 4π)
 S est la surface frottée ou la surface utile de la sonde en cm^2
 K est le rendement de la mesure ou de frottis ($K = 1$ pour la mesure par taux de comptage, $K = 0,1$ par défaut pour la mesure par frottis)

Mesure de la contamination atmosphérique (Bq/m^3)

Le niveau de contamination atmosphérique peut être évalué grâce à des prélèvements d'air sur filtre fixe. La fréquence des prélèvements varie : si le risque est faible, un prélèvement par semaine suffit ; s'il est élevé, un prélèvement par jour est recommandé.

Si la mesure est réalisée en continu, le point de prélèvement doit être placé au plus près du poste de travail ; le capteur doit être éloigné afin d'éviter qu'il soit perturbé par le débit de dose ambiant ou contaminé.

5. MOYENS DE PROTECTION

Le choix des moyens de protection repose sur une analyse préalable de l'intervention à réaliser (ou des protocoles expérimentaux) afin d'identifier le ou les risque(s) présent(s). Il est recommandé de pratiquer une simulation de l'opération avec un colorant (exemple : fuschine) pour en maîtriser les gestes et la durée.

Pour le phosphore-32, les risques à prendre en compte sont les risques d'exposition interne et d'exposition externe de la peau et des extrémités.

Installation des locaux

Les locaux doivent être conçus pour la manipulation du phosphore-32, être réservés à cet effet et situés à l'écart des circulations générales.

Le revêtement des sols, des murs, des plafonds et des surfaces de travail doit être en matériau lisse, imperméable, sans joint et facilement décontaminable.

Les locaux mis en dépression doivent bénéficier d'une ventilation indépendante du système général de ventilation, le renouvellement d'air doit être de 10 volumes par heure pour le laboratoire et de 5 volumes par heure pour les autres locaux.

La manipulation du phosphore-32 doit avoir lieu derrière des écrans constitués en matériaux légers (exemple : plexiglas de 1 cm d'épaisseur).

Les parois des récipients de stockage de substances contenant du phosphore-32 devront également être en matériaux légers. Pour des activités de phosphore-32 supérieures à 40 MBq, il est recommandé d'utiliser des écrans plombés afin d'absorber le rayonnement de freinage.

Le sas vestiaire pour le personnel est conçu et aménagé pour permettre la séparation, dans deux secteurs distincts, des vêtements de ville et des vêtements de travail (y compris les chaussures), et comporte douche et lavabo.

Les éviers, clairement identifiés, doivent comporter des robinets à commande non manuelle, être reliés à des cuves de décroissance ou équipés de bondes reliées au siphon.

Le matériel médical ou de laboratoire utilisé pour le travail avec le phosphore-32 ne doit servir qu'à cette seule fonction. L'utilisation de papiers absorbants est nécessaire.

Protection contre l'exposition externe

Trois actions permettent de se protéger contre les risques d'exposition externe :

- diminuer le temps d'exposition aux rayonnements ;
- s'éloigner de la source de rayonnements. Étant donné l'énergie élevée du rayonnement du phosphore-32, il est nécessaire d'utiliser des pinces ;
- interposer un ou plusieurs écran(s) entre la source de rayonnements et les personnes : des écrans de verre d'épaisseur égale à 4 mm ou de plexiglas d'épaisseur égale à 8 mm permettent d'arrêter les rayonnements particulaires β . Pour s'affranchir du rayonnement de freinage, l'ajout de plomb à l'extérieur des parois de verre ou de plexiglas est nécessaire ;
- utiliser du matériel en plexiglas : boîte pour source, conteneur déchets, portoir avec couvercle...

Dans les services de médecine nucléaire, les solutions doivent être placées dans des protège-flacons en verre au plomb.

Il est également indispensable d'utiliser des protège-seringues en plomb ou en tungstène munies d'une fenêtre en verre au plomb.

Protection contre l'exposition interne

Les équipements de protection individuelle doivent être utilisés ; il faut :

- porter des gants (souvent en vinyle), les changer toutes les 15 minutes et les ôter avant toute sortie de zone ; cela prévient toute contamination mais ne constitue pas une barrière contre l'exposition externe ;
- porter une blouse à manches longues, fermée ;
- porter des lunettes de protection.

Le phosphore-32 est peu volatil. Le risque d'exposition par inhalation est *a priori* limité. Néanmoins, toute manipulation de

fortes activités doit se faire dans une boîte à gants ou en recherche dans une boîte à phosphorylation.

6. DÉLIMITATION ET CONTRÔLES DES LOCAUX

Délimitation des locaux ⁽⁴⁾

La délimitation des locaux doit prendre en compte les risques d'exposition externe et interne liés aux sources manipulées et stockées (voir tableaux VII et VIII).

En pratique, il est possible de limiter les zones réglementées à une partie du local dans lequel le phosphore-32 est manipulé.

D'une manière générale, dans le domaine de la recherche, les activités utilisées sont relativement faibles. Les zones de travail (postes de travail) sont parfois classées en zones contrôlées (lors de réactions de phosphorylations par exemple), mais, la plupart du temps, elles sont classées en zones surveillées (manipulation de molécules marquées). La zone surveillée peut être temporaire (le temps de la manipulation) dans le cas où un contrôle systématique d'absence de contamination de surface avec le détecteur local est fait. Les activités nécessitant un classement en zones surveillées doivent être regroupées géographiquement.

En médecine, l'utilisation du phosphore-32 pour le traitement des polyglobulies s'effectue dans les services de médecine nucléaire qui bénéficient, compte tenu des conditions habituelles de pratique et des différents radionucléides utilisés, d'un classement en zones contrôlées pour les zones de réception des produits radioactifs, laboratoire chaud, salle d'administration ainsi que les zones de manipulation et de stockage des déchets solides et liquides.

Le zonage des locaux devra être justifié et formalisé dans chaque cas sous forme d'un document à conserver (à joindre au document unique relatif aux risques professionnels).

Contrôles ⁽⁵⁾

L'arrêté du 26 octobre 2005 précise tous les contrôles qui doivent être effectués.

Parmi ces contrôles, on retiendra plus particulièrement ceux relatifs à l'utilisation du phosphore-32.

Le contrôle de la contamination surfacique doit être réalisé après chaque manipulation et en cas d'incident sur les surfaces, matériels, écrans, mains... Les boîtes à gants et leur système de filtration doivent être contrôlés au moins une fois par an. Des contrôles de routine peuvent également être organisés afin de

4 Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites.

5 Arrêté du 26 octobre 2005 définissant les modalités de contrôle de radioprotection en application des articles R. 4452-12, R. 4452-14 à R. 4452-16 du code du travail et R. 1333-44 du code de la santé publique.

vérifier périodiquement l'état radiologique de la boîte à gants et des filtres d'extraction.

Un contrôle mains/pieds doit être réalisé de manière systématique après toute manipulation et en sortie de service de médecine nucléaire.

Les appareils de mesure utilisés doivent être vérifiés au moins annuellement (et avant utilisation si celui-ci n'a pas été utilisé depuis plus d'un mois).

7. CLASSEMENT, FORMATION ET SURVEILLANCE DU PERSONNEL EXPOSÉ

Classement

Contrairement à la délimitation des zones de travail qui est fondée sur une évaluation des risques liés aux sources radioactives, le classement du personnel opérant dans ces zones est déterminé par une étude de poste.

L'évaluation de la dose prévisionnelle annuelle, prenant en compte les expositions externe et interne aux différents postes occupés, permet de classer les travailleurs exposés en deux catégories, A et B. Ce classement n'est pas fondé sur l'affectation

habituelle ou non en zone réglementée (surveillée ou contrôlée) mais sur un niveau de dose susceptible d'être atteint. Les niveaux de référence sont fournis au *tableau IX*.

Ainsi, les travailleurs susceptibles de recevoir dans les conditions normales de travail une dose efficace supérieure à 6 mSv par an ou une dose équivalente supérieure aux trois dixièmes des limites annuelles d'exposition fixées pour les mains ou le cristallin sont classés en catégorie A. Les travailleurs exposés ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B.

▽ Critères de classement des travailleurs exposés

Tableau IX

	Dose efficace corps entier	Dose équivalente mains, avant-bras, pieds, chevilles	Dose équivalente à tout cm ² de la peau	Dose équivalente au cristallin
Travailleurs exposés de catégorie A	> 6 mSv sur 12 mois consécutifs	> 150 mSv	> 150 mSv	> 45 mSv
Travailleurs exposés de catégorie B	≤ 6 mSv sur 12 mois consécutifs	≤ 150 mSv	≤ 150 mSv	≤ 45 mSv

EXPOSITION EXTERNE ET INTERNE DE L'ORGANISME ENTIER

Tableau VII

Dose efficace (E) susceptible d'être reçue en 1 h

Zone non réglementée	Zones réglementées		Zones spécialement réglementées		
	Zone surveillée gris-bleu	Zone contrôlée verte	Zone contrôlée jaune	Zone contrôlée orange	Zone rouge dite zone interdite
<ul style="list-style-type: none"> ■ Dose efficace susceptible d'être reçue par un travailleur $E < 80 \mu\text{Sv}/\text{mois}$ ■ Contrôle de l'état de propreté radiologique si risque de contamination dans les zones réglementées attenantes 	$E < 7,5 \mu\text{Sv}$	$E < 25 \mu\text{Sv}$	$E < 2 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 2 \text{ mSv}/\text{h}$	$E < 100 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 100 \text{ mSv}/\text{h}$	$E > 100 \text{ mSv}$ ou $\text{DDD}^* > 100 \text{ mSv}/\text{h}$

* DDD : débit de dose

EXPOSITION DES EXTRÉMITÉS (MAINS, PIEDS, CHEVILLES ET AVANT-BRAS)

Tableau VIII

Dose équivalente (H) susceptible d'être reçue en 1 h

Zone non réglementée	Zones réglementées		Zones spécialement réglementées		
	Zone surveillée gris-bleu	Zone contrôlée verte	Zone contrôlée jaune	Zone contrôlée orange	Zone rouge dite zone interdite
Pas de valeur affichée	$H < 0,2 \text{ mSv}$	$H < 0,65 \text{ mSv}$	$H < 50 \text{ mSv}$	$H < 2,5 \text{ Sv}$	$H > 2,5 \text{ Sv}$

Formation du personnel

Tous les personnels susceptibles d'intervenir en zone réglementée doivent bénéficier d'une formation à la radioprotection renouvelée tous les trois ans organisée par l'employeur portant sur les risques d'expositions externe et interne, sur les procédures générales de radioprotection en vigueur ainsi que sur les règles de protection contre les rayonnements ionisants.

Une attention particulière doit être portée à la formation des travailleurs temporaires et des nouveaux entrants. Une formation (information) spécifique doit être réalisée avant la mise en œuvre de nouvelles manipulations.

Surveillance médicale du personnel

Les points importants sont les suivants :

- surveillance médicale renforcée, au moins annuelle, s'appuyant sur une fiche individuelle d'exposition établie par le chef d'établissement (copie dans le dossier médical) ;
- carte individuelle de suivi médical (contacter l'IRSN : www.siseri.com) ;
- attestation d'exposition professionnelle établie lors du départ du salarié, en s'appuyant sur la fiche individuelle d'exposition.

Aucune femme enceinte ne peut être affectée à un poste impliquant un classement en catégorie A. La dose de l'enfant à naître doit, dans tous les cas, rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement (limite absolue). En cas d'allaitement, tout travail comportant un risque de contamination doit être exclu.

Surveillance dosimétrique des travailleurs exposés

Exposition externe

Dosimètre passif individuel :

- catégorie A : mensuel ;
- catégorie B : mensuel ou trimestriel.

Dosimétrie opérationnelle pour toute opération en zone contrôlée, quelle que soit la catégorie du travailleur.

Exposition des extrémités

La manipulation de phosphore-32 nécessite la mise en œuvre d'une dosimétrie des extrémités (exemple : bague dosimétrique).

Exposition interne

Elle est évaluée par analyse radiotoxicologique urinaire. Une mesure directe par anthroporadiométrie est également possible (détection des rayons X de freinage) ; cette méthode est cependant plus qualitative que quantitative et est peu utilisée en routine.

La fréquence des analyses sera choisie par le médecin du travail en fonction de l'évaluation de niveau de risque de contamination.

La fréquence optimale des examens radiotoxicologiques urinaires est d'un mois. Dans le cas d'une utilisation ponctuelle

(intervalle d'utilisation supérieur à un mois) mais avec une forte activité, l'examen doit avoir lieu après chaque manipulation.

En cas de contrôle positif, le médecin du travail demandera des contrôles ultérieurs pour suivre l'évolution du niveau de l'exposition. Les circonstances de l'exposition seront analysées avec l'appui de la PCR.

8. EFFLUENTS ET DÉCHETS

Chaque établissement a l'obligation de mettre en œuvre un plan de gestion individualisé définissant les modalités de tri, de conditionnement, de stockage, de contrôle et d'élimination des effluents et des déchets produits⁽⁶⁾. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

La période radioactive du phosphore-32 étant inférieure à 100 jours, les déchets et les effluents produits peuvent faire l'objet d'une gestion et d'une élimination locales sans qu'il y ait de prise en charge obligatoire par l'ANDRA.

Déchets solides

Les déchets sont déposés dans des poubelles en plexiglas d'une épaisseur recommandée de 1 cm et recouvert d'une mince protection de plomb dont l'ouverture doit pouvoir se faire à l'aide du pied.

L'entreposage des déchets solides doit s'effectuer dans un local dédié. Leur élimination peut commencer après une mise en décroissance de dix fois la période radioactive, soit 140 jours, à condition que l'activité résiduelle mesurée ne dépasse pas deux fois le bruit de fond.

Effluents liquides

L'élimination des effluents liquides par le réseau d'assainissement public (c'est le cas pour les utilisations médicales) ne peut se faire qu'après une mise en décroissance d'au moins dix fois la période radioactive, soit 140 jours, à condition que l'activité volumique résiduelle soit inférieure à 10 Bq/l. Dans les laboratoires de recherche, l'élimination suit la filière de déchets adaptée aux autres risques.

Les cuves d'entreposage sont équipées de dispositifs de mesure de niveau et de prélèvement. Elles peuvent fonctionner alternativement en remplissage et en entreposage de décroissance. Un dispositif permet la transmission de l'information du niveau de remplissage des cuves vers un service où une présence est requise 24 heures sur 24. Elles sont installées dans un local indépendant, ventilé et fermé à clé, muni d'un détecteur de liquide en cas de fuite.

6 Arrêté du 23 juillet 2008 relatif à l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides.

7 Voir décret 2006-1454 du 24 novembre 2006 modifiant la nomenclature des installations classées.

Elles doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

- elles doivent être constituées d'un matériau facilement décontaminable (béton nu à proscrire) ;
- elles doivent être situées au-dessus d'un cuvelage de sécurité permettant la rétention de liquide en cas de fuite – ce cuvelage doit être muni d'un capteur de fuite.

En sortie de site, l'activité des effluents est surveillée par un bilan sur 8 heures tous les quatre jours ou par un contrôle en continu au moyen d'un détecteur approprié.

Effluents gazeux

Les effluents gazeux sont captés sur des filtres qui doivent être contrôlés puis traités avec les déchets radioactifs solides.

Après décroissance, les déchets et les effluents doivent être éliminés selon la filière appropriée en fonction de leur nature (banale, chimique, biologique...).

9. PROCÉDURES ADMINISTRATIVES D'AUTORISATION ET DE DÉCLARATION

Application à des fins médicales : médecine, art dentaire, biologie humaine, recherche biomédicale

La détention et l'utilisation du phosphore-32 sont soumises à autorisation préalable prise au titre du code de la santé publique et délivrée par l'ASN, quelles que soient les activités détenues et manipulées.

Application non médicale conduite dans un établissement ni industriel ni commercial

Une autorisation délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure à 10^5 Bq (activité totale) ou à 1 000 Bq/g (activité massique).

Application non médicale conduite dans un établissement industriel ou commercial

Dont aucune installation n'est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE (détention d'un produit chimique, bruit...) ⁽⁷⁾

Une autorisation délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure à 10^5 Bq (activité totale) ou à 1 000 Bq/g (activité massique).

Dont au moins une installation est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE ⁽⁷⁾

La déclaration ICPE auprès du préfet du département est imposée lorsque l'activité totale détenue est comprise entre

10^5 Bq et 10^9 Bq. L'autorisation ICPE est requise au-delà de 10^9 MBq et est délivrée par le préfet du département.

Application non médicale conduite dans un établissement industriel produisant du phosphore-32

Une autorisation délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique, quelles que soient les activités mises en jeu.

10. TRANSPORTS SUR LA VOIE PUBLIQUE

Tous les transports ne sont pas soumis à la réglementation concernant le transport des matières dangereuses. Pour le phosphore-32, si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 1 kBq/g ou si l'activité totale de l'envoi est inférieure à 100 kBq, la réglementation ne s'applique pas.

Si ces deux seuils sont dépassés, le transport est soumis aux exigences des règlements applicables ; pour les transports par route, rail, voie fluviale, mer ou air, des arrêtés français rendent applicables les règlements ADR ⁽⁸⁾, RID ⁽⁹⁾, ADN ⁽¹⁰⁾ ou ADN ⁽¹¹⁾, IMDG ⁽¹²⁾ ou les instructions techniques de l'OACI ⁽¹³⁾, respectivement. Tous ces règlements sont compatibles entre eux pour faciliter les transports multimodaux.

L'expéditeur est le premier responsable du respect des exigences qui sont détaillées dans ces règlements. En particulier, le choix de l'emballage dépend du niveau de risque associé à la matière transportée. Un niveau d'activité de référence dit « A2 » permet de choisir le type de colis en fonction de l'activité contenue dans le colis. Pour le phosphore-32, A2 vaut 500 GBq.

▽ Classement des colis selon l'activité du contenu

Tableau X

Type de colis	Activité du phosphore-32 contenu	Exigences de conception du colis
Colis excepté	< 500 MBq (< A2/1 000)	Faibles : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en l'absence d'incident.
Colis de type A	< 500 GBq (< A2)	Moyennes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'incident mineur (choc de manutention, pluie, etc.).
Colis de type B	> 500 GBq (> A2)	Fortes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'accident sévère (collision, incendie, submersion).

8 ADR : accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.

9 RID : règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses.

10 ADN : accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures.

11 ADN ^R : règlement pour le transport de matières dangereuses sur le Rhin.

12 IMDG : code maritime international des matières dangereuses, Organisation maritime internationale.

13 Instructions techniques de l'OACI : instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses, Organisation de l'aviation civile internationale.

L'expéditeur est également responsable de la signalisation des colis qui est destinée à limiter les risques d'exposition des personnes du public ou des travailleurs en cours de transport. Cette signalisation est effectuée par l'une des étiquettes 7A, 7B ou 7C représentées ci-dessous, choisie en fonction des débits de dose mesurés autour du colis.



▽ Correspondance entre la catégorie des étiquettes apposées au colis, l'indice de transport et le débit de dose

Tableau XI

Indice de transport (IT) ⁽¹⁴⁾	Débit de dose (DDD) en tout point de la surface externe	Étiquette
0	DDD ≤ 5 µSv/h	I – BLANCHE
Plus de 0 mais pas plus de 1	5 µSv/h < DDD ≤ 500 µSv/h	II – JAUNE
Plus de 1 mais pas plus de 10	500 µSv/h < DDD ≤ 2 mSv/h	III – JAUNE
Plus de 10	2 mSv/h < DDD ≤ 10 mSv/h ⁽¹⁵⁾	III – JAUNE et transport exclusif

11. CONDUITE À TENIR EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT

Le traitement de l'urgence vitale médico-chirurgicale prime sur toute action de décontamination.

Dès la découverte de l'événement :

- suivre les consignes affichées en tenant compte des circonstances de l'incident et des activités mises en jeu ;
- alerter la personne compétente en radioprotection, le responsable de l'installation et le médecin du travail ;
- contacter, si nécessaire, l'IRSN pour un appui technique (dispositif d'alerte de l'IRSN : 06 07 31 56 63).

¹⁴ IT = intensité de rayonnement maximale à 1 m de tout point situé à la surface du colis (en mSv/h) x 100 x k où k est un coefficient qui dépend de la géométrie du colis avec k = 1 pour les colis dont la plus grande section est de 1 m².

¹⁵ L'intensité en tout point de la surface externe ne peut dépasser 2 mSv/h que si le véhicule est équipé d'une enceinte qui, dans les conditions de transport de routine, empêche l'accès des personnes non autorisées à l'intérieur de l'enceinte, si des dispositions sont prises pour immobiliser le colis à l'intérieur de l'enceinte du véhicule et s'il n'y a pas d'opérations de chargement/ déchargement entre le début et la fin de l'expédition.

Contamination des locaux et/ou du matériel

- Déterminer l'étendue de la zone contaminée (à l'aide d'une sonde β par exemple), délimiter et baliser un périmètre de sécurité.
- Confiner le déversement ou la fuite (produits absorbants...).
- Avertir le personnel et éventuellement le faire évacuer.
- Décontaminer de l'extérieur vers l'intérieur avec du matériel jetable en utilisant des détergents de laboratoire.
- En fin de décontamination, procéder à des contrôles (sonde β, frottis) afin de s'assurer de l'absence de contamination résiduelle.

Les personnes intervenant au cours de la décontamination doivent porter, *a minima*, des gants, une blouse fermée et des surbottes. Si un risque de contamination atmosphérique est avéré, le port d'un masque filtrant adapté est nécessaire.

Toute contamination de locaux ou de surfaces de travail doit conduire à rechercher une contamination éventuelle des personnes présentes.

Expositions externe et interne d'une personne

Exposition due à une source distante

- Réaliser une première investigation en vérifiant le débit de dose de la source et le temps de présence de l'intervenant.
- Si l'exposition externe est avérée ou en cas de doute, transmettre les dosimètres passifs pour exploitation en urgence.

Contamination cutanée

- Contrôler avec du matériel adapté les mains, la blouse, les cheveux, la barbe, les chaussures, les sécrétions nasales (mouchage).
- Procéder à la décontamination par un lavage à l'eau savonneuse de préférence (ou un produit équivalent non abrasif) sans frotter afin de ne pas favoriser le passage transcutané du contaminant.
- Contrôler l'efficacité de la décontamination.
- Si une contamination cutanée persiste, le médecin du travail pourra mettre en place un pansement étanche sur la zone contaminée afin de faire transpirer la peau et faciliter l'élimination du radionucléide.
- Réaliser une analyse radiotoxicologique des urines.

Toute contamination du personnel doit être analysée car elle peut être le seul signe apparent d'une contamination d'un local ou d'une zone.

Contamination oculaire

- Laver abondamment sous l'eau à température ambiante pendant 10 minutes.
- Consulter un médecin en lui indiquant la forme chimique du contaminant.

- Réaliser une analyse radiotoxicologique des urines.

Contamination interne

Toute contamination cutanée ou oculaire d'une personne doit faire suspecter et rechercher une contamination interne.

Cette situation impose l'intervention immédiate de la PCR et du médecin du travail qui, si nécessaire, feront appel à un service spécialisé ou à l'IRSN.

- Déterminer l'activité manipulée.
- Procéder au recueil des urines sur 24 heures de la personne concernée et faire réaliser un examen radiotoxicologique urinaire.
- En cas de résultat positif, le médecin du travail demande des analyses ultérieures pour suivre l'évolution de la contamination interne.

Un traitement par dilution isotopique est possible. Il existe de nombreuses spécialités pharmaceutiques contenant du phosphore échangeable.

Exemple d'évaluation de la dose efficace engagée

▽ Valeurs calculées (Bq par Bq incorporé) **Tableau XII**
pour l'inhalation de phosphore-32 de type F (5 µm)

Temps après l'incorporation (j)	Excrétion urinaire journalière
1	$4,9 \cdot 10^{-2}$
2	$2,8 \cdot 10^{-2}$
3	$1,7 \cdot 10^{-2}$
4	$1,2 \cdot 10^{-2}$
5	$8,9 \cdot 10^{-3}$
6	$6,9 \cdot 10^{-3}$
7	$5,6 \cdot 10^{-3}$
8	$4,6 \cdot 10^{-3}$
9	$3,8 \cdot 10^{-3}$
10	$3,3 \cdot 10^{-3}$

Dans le cas d'un recueil des urines, le calcul de dose s'effectue de la manière suivante :

$$I = A_m / F(t)$$

$$E(\text{Sv}) = I(\text{Bq}) \times \text{DPUI} (\text{Sv/Bq})$$

Avec

E = dose efficace engagée

I = activité incorporée au jour de la contamination

A_m = activité mesurée en excrétion au jour t après la contamination

F(t) = fraction excrétée au jour t pour 1 Bq incorporé
DPUI = dose par unité d'incorporation

Exemple numérique :

Inhalation de phosphore-32 sous forme particulaire de type F. L'analyse des urines des 24 heures prélevées dans les trois premiers jours suivant la contamination donne les résultats ci-après :

$$A_1 = 2\,500 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_2 = 1\,400 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_3 = 800 \text{ Bq sur 24 h}$$

Évaluation de l'activité incorporée sur la base des mesures d'excrétion à J 1, J 2 et J 3 :

$$I = 2\,500 / 4,9 \cdot 10^{-2} = 5,10 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$I = 1\,400 / 2,8 \cdot 10^{-2} = 5,0 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$I = 800 / 1,7 \cdot 10^{-2} = 4,7 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

L'activité incorporée est égale, en première approche, à la moyenne arithmétique des trois valeurs de I :

$$I = 4,93 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

Ce qui donne en prenant la DPUI correspondante (voir tableau V) :

$$E = 4,93 \cdot 10^4 \times 1,1 \cdot 10^{-3} = 54 \text{ µSv}$$

Déclarations à effectuer

Tout incident ou accident doit être consigné dans le registre d'hygiène et de sécurité.

Tout accident du travail doit être déclaré par l'employeur auprès de la caisse primaire d'assurance maladie.

Tout accident ou incident significatif doit être déclaré, dans les meilleurs délais, auprès de la division territoriale compétente de l'ASN selon les dispositions en vigueur⁽¹⁶⁾.

En cas de dépassement d'une limite de dose annuelle, l'inspecteur du travail doit également être prévenu.

16 Guide ASN/DEU/03 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives.

Cette fiche a été élaborée par un groupe de travail animé par l'INRS et l'IRSN auquel ont participé des experts de l'AP-HP, CEA, CH de Poissy-St-Germain, CNRS, EDF, INSERM, ainsi que l'ASN et la DGT. Les experts qui ont plus particulièrement contribué à cette fiche sont :

- Bernard Aubert (IRSN),
- Alain Biau (IRSN),
- Jean-Michel Deligne (IRSN),
- Laurent Donadille (IRSN),
- Denis-Jean Gambini (AP-HP),
- Christine Gauron (INRS),
- Gilbert Herbelet (CH Poissy-St-Germain),
- Alain Rannou (IRSN),
- Françoise Roussille (INSERM),
- Gilles Sert (IRSN),
- Jean-Pierre Servent (INRS).



Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
31, avenue de la Division-Leclerc 92260 Fontenay-aux-Roses
Tél. 01 58 35 88 88 • www.irsn.fr



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • www.inrs.fr • info@inrs.fr