

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Sûreté des transports de substances radioactives à usage civil sur le territoire français

**ENSEIGNEMENTS TIRÉS PAR L'IRSN  
DE L'ANALYSE DES ÉVÉNEMENTS SIGNIFICATIFS  
DÉCLARÉS EN 2014 ET 2015**



# L'IRSN

## Faire avancer la sûreté nucléaire

L'IRSN est un établissement public à caractère industriel et commercial, créé en 2001, dont les missions sont définies par la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Il est placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés respectivement de l'écologie, de la recherche, de l'industrie, de la santé et du ministre de la Défense.

**E**xpert public des risques nucléaires et radiologiques, l'Institut apporte, par ses missions de recherche, d'expertise et de surveillance, une évaluation scientifique et technique de ces risques. Ses activités s'étendent à de nombreux domaines tant en France qu'à l'international: sûreté des installations, des transports et des déchets nucléaires, surveillance de l'environnement, des travailleurs et des patients, conseil et intervention en cas de risque radiologique, radioprotection de l'homme en situations normale et accidentelle. Ses compétences sont également mises en œuvre pour les activités analogues intéressant la défense.

L'IRSN concourt directement aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire, de protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants ainsi que de protection des matières nucléaires, des installations et des transports à l'égard des risques de malveillance. Il interagit dans ce cadre avec tous les acteurs concernés par ces risques: pouvoirs publics, et notamment les autorités de sûreté et de sécurité nucléaires, collectivités locales, entreprises, organismes de recherche, associations, parties prenantes et représentants de la société civile. L'Institut s'attache de plus à informer le public en rendant accessibles les résultats de ses travaux. Par ses actions, il contribue également à d'autres politiques publiques majeures comme celle de la recherche et de l'innovation, de la santé au travail ou de la santé environnementale.

L'Institut compte environ

**1 800 collaborateurs**

parmi lesquels de nombreux ingénieurs, médecins, agronomes, vétérinaires, techniciens, experts et chercheurs.

Pour mener à bien ses missions, l'IRSN dispose d'un

**budget d'environ 300 M€.**

**La sûreté et la radioprotection exigent une vigilance permanente de l'ensemble des acteurs impliqués car elles ne sont jamais définitivement acquises; elles doivent rester une priorité, et ce dans un esprit de progrès permanent.**

**Ce progrès, pour l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), passe par l'évolution continue des connaissances à partir de deux sources complémentaires que sont la recherche d'une part, l'analyse attentive du retour d'expérience national et international d'autre part, évolution indispensable à une évaluation des risques nucléaires et radiologiques conforme à l'état de l'art et au plus près des réalités du terrain.**

Dans le cadre de ses missions, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) assure une veille technique permanente de l'état de la sûreté et de la radioprotection des installations nucléaires de base civiles et des transports de substances radioactives à usage civil sur le territoire français.

Cette veille s'exerce notamment par l'analyse des événements significatifs relatifs à ces installations et à ces transports déclarés à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) par les exploitants, afin d'en tirer les enseignements utiles pour alimenter son retour d'expérience. Les événements les plus marquants font l'objet d'une analyse approfondie par l'Institut. En complément, l'IRSN réalise un examen d'ensemble de ces événements pour en faire ressortir des enseignements globaux ainsi que des tendances d'évolutions et identifier des axes de progrès nécessitant une vigilance particulière de la part des exploitants. Les résultats de ces analyses globales sont présentés dans trois rapports de mission :

**Le rapport intitulé « Le point de vue de l'IRSN sur la sûreté et la radioprotection du parc électronucléaire français »,** publié tous les ans depuis 2008, concerne les 58 réacteurs à eau sous pression en exploitation du parc national électronucléaire d'EDF.

**Le rapport intitulé « Sûreté des installations nucléaires de base autres que les réacteurs électronucléaires - Enseignements tirés des événements significatifs »,** publié tous les deux ans depuis 2009, concerne les installations du cycle du combustible nucléaire, les laboratoires et les réacteurs de recherche, les installations de traitement, d'entreposage ou de stockage de déchets nucléaires, ainsi que les installations arrêtées définitivement et en phase d'assainissement ou de démantèlement.

**Le rapport intitulé « Sûreté des transports de substances radioactives à usage civil sur le territoire français - Enseignements tirés par l'IRSN des événements significatifs »,** publié tous les deux ans depuis 2008, concerne les transports de substances radioactives à usage civil sur le territoire français.

Les risques liés aux activités nucléaires étant un sujet de préoccupation important pour les Français, comme l'atteste le [📊 Baromètre IRSN sur la perception des risques et de la sécurité](#) publié annuellement par l'Institut, ces rapports visent à informer les parties prenantes et le public afin de contribuer à une meilleure compréhension des enjeux concrets de sûreté et de radioprotection. Dans cet esprit, ces rapports présentent également des sujets « génériques », ou « transverses », pour lesquels, par son expertise, l'IRSN a contribué à faire avancer la sûreté et la radioprotection.

# Faits marquants des années 2014 et 2015

## Quelques éléments de présentation générale concernant les transports de substances radioactives

1. Le terme de colis désigne l'ensemble constitué par les substances radioactives transportées et par l'emballage de transport qui les contient.

Les exigences liées au transport de substances radioactives concernent toutes les activités associées au mouvement de ces substances sur la voie publique. Ainsi, outre leur déplacement entre le site expéditeur et celui destinataire, sont concernées l'ensemble des étapes nécessaires à ce déplacement, telles que le chargement et le déchargement du ou des emballages utilisés, l'entreposage éventuel en transit ainsi que la conception des emballages, leur fabrication, leur entretien et leur réparation.

Dans ce cadre, la réglementation stipule notamment que l'expéditeur est responsable de la sûreté du colis tout au long du transport et qu'il engage sa responsabilité lorsqu'il le remet au transporteur, accompagné de la déclaration d'expédition. Le transporteur a la responsabilité du bon déroulement de l'acheminement; il est notamment soumis à des exigences relatives à la formation de son personnel, à l'entretien de ses véhicules, à la conformité de l'arrimage du colis et à la signalétique du véhicule (figure 3).



Figure 3  
Pose de signalisation obligatoire relative au transport d'un colis de substances radioactives de forte activité

Près d'un million de colis<sup>1</sup> chargés de substances radioactives sont transportés chaque année en France, dont environ 96 % par route et les 4 % restant par transports combinés, notamment par route et air (environ 3 % des colis) et par route, mer et rail (environ 1 % des colis). Ces transports concernent le cycle du combustible nucléaire, le domaine médical, les secteurs industriels non nucléaires et les acteurs du contrôle technique ainsi que de la recherche (figure 1).

Les transports de substances radioactives sont encadrés par des réglementations spécifiques qui fixent notamment une classification des substances et des colis ainsi que des exigences visant à la maîtrise de la sûreté, en conditions de transport de routine, mais également en cas d'incident ou d'accident.

Les règles techniques et organisationnelles qui leur sont applicables sont élaborées, depuis 1961, à un niveau international par l'Agence Internationale de l'énergie atomique (AIEA). Elles font l'objet du « Règlement de transport de matières radioactives », reconnu à travers le monde comme la base des exigences concernant la sûreté de ces transports. Ces règles sont intégrées dans le « Règlement type sur le transport des marchandises dangereuses », aussi appelé « Livre orange », publié par l'Organisation des nations unies (ONU).

Ce livre regroupe les exigences de sûreté relatives aux neuf classes de matières dangereuses, dont les substances radioactives constituent la classe 7 (figure 2). Ces exigences, qui sont non juridiquement contraignantes, sont adaptées à chaque mode de transport

Figure 1  
Flux de transport par secteurs d'activité.

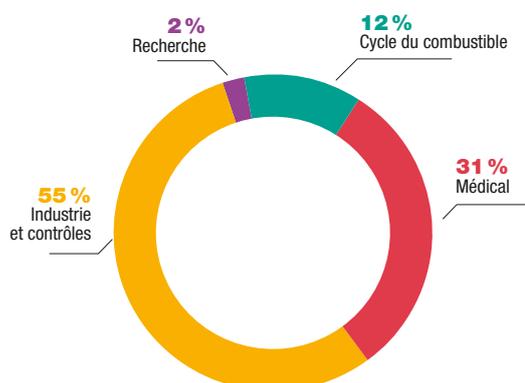




Figure 2  
Logos relatifs aux différentes classes  
de marchandises dangereuses

(voies terrestres – route, navigation intérieure, rail – aériennes ou maritimes) dans des réglementations dites « modales » qui font l'objet d'arrêtés et de directives établies au niveau national ou européen.

En France, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est en charge du contrôle de l'application de la réglementation de la sûreté des transports de substances radioactives à usage civil.

Les transports de substances radioactives concernent une grande diversité de formes physiques, de compositions chimiques et de radioactivité. La réglementation de l'AIEA définit plusieurs types d'emballages (figure 4) dont la conception doit intégrer les risques induits par ces substances pour la santé des personnes (travailleurs et population) ou pour l'environnement, en particulier les risques d'irradiation, liés à l'exposition aux rayonnements ionisants émis par ces substances, les risques de contamination, suite à un relâchement de ces substances en dehors de colis, et les risques de criticité.

Comme pour les installations nucléaires de base (réacteurs électronucléaires ou usines de fabrication et de traitement du combustible nucléaire par exemple), la sûreté des transports de substances radioactives repose sur le concept de « défense en profondeur », qui s'appuie principalement sur :

- la conception des emballages de transport, qui doit assurer la

maîtrise des risques associés aux substances radioactives transportées, y compris lors de situations accidentelles ;

- la conformité et la fiabilité des opérations de transport, fondées sur le respect des exigences réglementaires et des exigences d'exploitation ;
- la mise en œuvre en cas d'accident d'un dispositif de gestion de crise dédié, visant à limiter les conséquences sur les personnes et l'environnement et à mettre en place les mesures nécessaires.

De plus, l'approche de sûreté doit faire l'objet d'une veille permanente et d'une amélioration continue, en tenant compte notamment du retour d'expérience disponible ainsi que des nouvelles connaissances techniques acquises.



© IBA MOLECULAR / DR



© CEGELE/DR

Figure 4  
Exemples d'emballages  
de transport de substances  
radioactives  
(en haut : transport de produits  
radiopharmaceutiques ;  
au milieu : transport d'appareil  
de gammagraphie ; en bas : transport  
de combustibles irradiés)



© AREVA/DR

## Principaux enseignements tirés des événements liés aux transports de substances radioactives

Dans le cadre de ses activités d'expertise, dans le but notamment d'alimenter le retour d'expérience destiné à améliorer la sûreté des transports en faisant évoluer les emballages, les pratiques d'exploitation et la réglementation, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) analyse les événements survenus lors des transports de substances radioactives déclarés à l'ASN. En particulier, l'IRSN réalise un examen d'ensemble de ces événements pour en tirer des leçons globales concernant la sûreté des transports de substances radioactives à usage civil circulant sur le territoire français.

**Les enseignements tirés par l'IRSN de son analyse des événements « transport » déclarés à l'ASN en 2014 et 2015 font l'objet du cinquième rapport public de l'IRSN consacré à ce sujet.**

Les *quatre précédents rapports* ont couvert la période 1999-2013.

### Aperçu général

En 2014 et en 2015, respectivement 139 et 122 événements « transport » ont été déclarés à l'ASN, ce qui correspond à environ un événement déclaré pour 7 500 colis transportés (figure 5).

**L'analyse globale des événements « transport » déclarés au cours des années 2014 et 2015 ne met pas en évidence de dégradation de la sûreté des transports des substances radioactives sur le territoire français pendant cette période.**

En particulier, l'augmentation du nombre total d'événements s'explique principalement par une amélioration de la détection d'événements « mineurs », classés en dehors de l'échelle INES, tant par les acteurs du cycle du combustible nucléaire que par ceux du nucléaire dit « de proximité ». Le nombre d'événements faisant l'objet d'un classement sur l'échelle INES a très légèrement augmenté par rapport aux années précédentes. Aucun des événements déclarés en 2014 et 2015 n'a conduit à des conséquences radiologiques significatives pour les travailleurs, le public et l'environnement.

### Améliorations constatées...

Parmi les évolutions favorables du retour d'expérience constatées sur la période 2014-2015, deux sujets retiennent plus particulièrement l'attention de l'IRSN :

une nette baisse, en 2015, du nombre d'endommagements de colis destinés à des activités médicales<sup>2</sup> lors de leur manutention en zone aéroportuaire (8 événements en 2015 contre une vingtaine par an en moyenne sur la période 2010-2014). **Cette baisse est à relier aux actions de sensibilisation réalisées par la société CIS Bio International, qui est l'expéditeur des colis les plus fréquemment impliqués dans ce type d'événement, auprès des compagnies aériennes et du personnel impliqué dans les manutentions ;**

une augmentation sensible, par rapport à la période 2012-2013, du nombre d'événements déclarés par les acteurs de l'industrie non nucléaire et des contrôles techniques<sup>3</sup> (liés notamment à des erreurs dans les documents de transport et l'étiquetage des colis ou à des écarts découlant d'une mauvaise application de la réglementation). **Pour l'IRSN, cette augmentation ne traduit pas une dégradation de la sûreté de ce type de transport, mais au contraire suggère que les actions visant à informer et à former régulièrement ces**

2. Il s'agit notamment de colis de traceurs radioactifs ou de sources pour la curiethérapie destinés aux hôpitaux, centres anticancéreux ou cliniques possédant un service de médecine nucléaire, ce qui représente environ 30 % de l'ensemble des colis transportés.

3. Les industriels des secteurs autres que le nucléaire sont, en termes de flux de transport, les principaux expéditeurs de colis chargés de substances radioactives avec plus de la moitié du nombre de colis transportés annuellement en France.

Figure 5  
Nombre annuel d'événements déclarés à l'ASN depuis 1999 et classement sur l'échelle INES

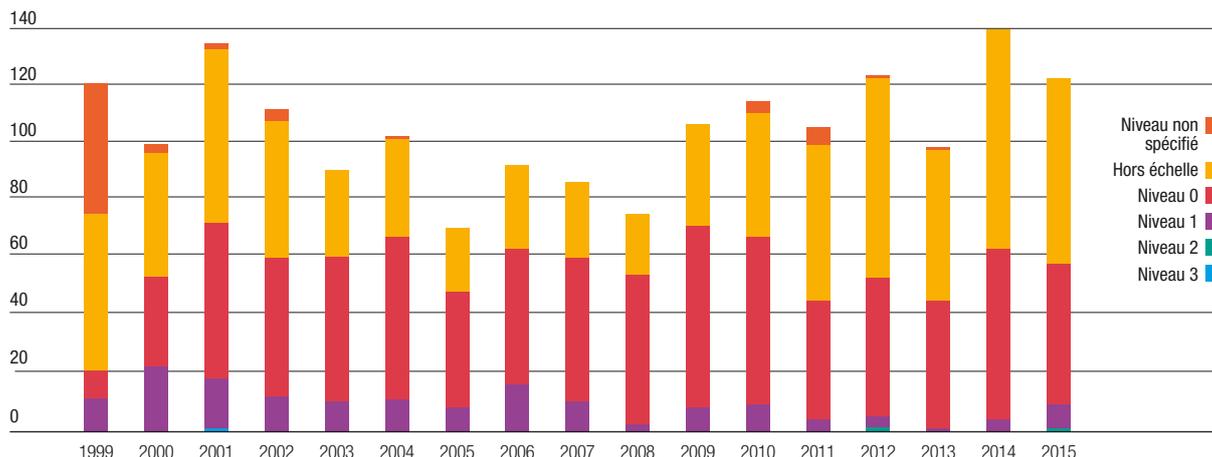




Figure 7  
Fûts contenant du minerai d'uranium  
dans une usine de traitement  
du minerai au Niger

acteurs aux exigences réglementaires et aux pratiques de détection et de déclaration d'événement ont commencé à porter leurs fruits.

### ...et points de vigilance à retenir

Pour l'IRSN, les trois thèmes suivants doivent faire l'objet d'une vigilance particulière des acteurs concernés et d'actions correctives :

- le respect strict des exigences relatives au **transport des appareils de gammagraphie**, en particulier celles associées au verrouillage et à l'arrimage de ces appareils, qui participent à la protection contre les risques d'exposition externe élevée aux rayonnements ionisants (irradiation) des travailleurs et du public. À cet égard, les sociétés autorisées à détenir, à utiliser et à transporter des gammagraphes devraient s'assurer que les dispositions figurant dans leur documentation opérationnelle sont conformes aux dispositions réglementaires, y compris pour ce qui concerne les mesures à adopter en situation « dégradée », et que ces dispositions sont connues des intervenants. Par ailleurs, les conclusions des travaux d'un groupe de travail dédié aux incidents impliquant des gammagraphes, créé en 2012 par l'ASN et réunissant les parties prenantes (utilisateurs et fournisseur d'appareils, ASN, IRSN...), devraient être publiées par l'ASN en 2016;

- l'**arrimage des colis** sur leur moyen de transport, au regard des risques de chute du colis en cours de transport, ainsi que l'arrimage des objets dans leur conteneur de transport, étant donné que le déplacement de ces objets dans le conteneur pourrait entraîner leur endommagement ou l'augmentation du débit de dose au contact du colis. **Ce sujet doit faire l'objet d'une attention particulière des transporteurs, comme déjà évoqué dans le précédent rapport de l'IRSN sur la sûreté des transports.** Dans ce sens, le renforcement des formations prescrites dans l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) pour les personnes intervenant dans ces activités et la diffusion d'un guide de « bonnes pratiques » à destination du personnel concerné et de leur encadrement, en cours de discussion au sein de groupes de travail pilotés par l'ASN devraient améliorer la fiabilisation de l'arrimage des colis;

- la « propreté radiologique » des fûts de minerai d'uranium (figure 7) expédiés depuis les mines à l'étranger, même si les risques de contamination des personnes, liés notamment à une dissémination de minerai d'uranium dans l'environnement en cours de transport, sont faibles. À cet égard, les opérations de remplissage et de fermeture de ces fûts devraient faire l'objet d'une attention particulière de la part des expéditeurs.

Le 2 mars 2015, la société Engineering Control Welding, spécialisée dans la fourniture de prestations en radiographie industrielle, rapatrie l'un de ses gammagraphes depuis un site industriel vers une de ses agences locales. Ce transport est effectué alors que l'appareil n'est pas en position « fermée verrouillée », du fait d'un dysfonctionnement du dispositif de verrouillage, et que les accessoires de chantier qui lui sont reliés (télécommande et collimateur relié au nez du projecteur – figure 6) ne sont pas désolidarisés.

Le transport de l'appareil en dehors de sa coque de protection et sans que la source d'iridium 192 ne soit en position de sécurité (c'est-à-dire verrouillée à l'intérieur de la protection en plomb) constitue deux non-respects d'exigences réglementaires. En cas d'accident de la circulation, cela aurait pu conduire à une sortie de la source de sa protection, et donc à une irradiation du personnel de la société prestataire ainsi que, le cas échéant, des équipes d'intervention mobilisées pour l'accident, voire du public se trouvant à proximité.

Cet événement a été classé par l'ASN au niveau 2 de l'échelle INES.

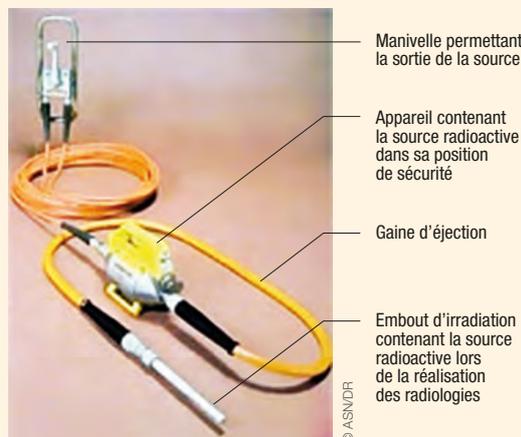


Figure 6  
Principaux composants d'un gammagraphe

Le 11 mai 2015, l'exploitant du CNPE de Cruas a expédié, dans un conteneur de type industriel, des sacs de linge pour lavage. En raison d'un mauvais **arrimage**, un sac contenant des chaussures contaminées s'est déplacé à l'intérieur du conteneur en cours de transport. Ceci a occasionné une multiplication par 6 du débit d'équivalent de dose (DeD) mesuré au contact des parois du conteneur entre son expédition (0,18 mSv/h) et sa réception (1,07 mSv/h). Si la limite réglementaire de DeD au contact du colis (2 mSv/h) n'a pas été dépassée, l'étiquetage radiologique du colis n'était plus adapté.



# SOMMAIRE

---



## Présentation des transports de substances radioactives 2

# 1

- Cadre réglementaire relatif au transport de substances radioactives **3**
- Principaux éléments relatifs à la sûreté des transports de substances radioactives **4**
- Nature et flux des transports de substances radioactives sur le territoire français **5**



## Analyse globale des événements 8

# 2

- Éléments relatifs à la déclaration d'un événement survenu au cours d'un transport de substances radioactives **9**
- Bilan des événements et analyse des principales tendances observées au cours des années 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes **10**
- Analyse des principaux types d'événements survenus en 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes **16**



## Événements marquants 22

# 3

- Événement du 2 mars 2015 concernant le non-respect d'exigences réglementaires lors du transport d'un gammagraphe **23**
- Événement du 29 septembre 2015 concernant un défaut de serrage de vis des capots amortisseurs d'emballages utilisés pour le transport d'éléments combustibles irradiés **27**
- Événement du 8 avril 2015 concernant la non-conformité du contenu transporté **29**

## GLOSSAIRE 32

# 1



## Présentation des transports de substances radioactives

Cadre réglementaire relatif au transport de substances radioactives

Principaux éléments relatifs à la sûreté des transports de substances radioactives

Nature et flux des transports de substances radioactives sur le territoire français

Près d'un million de colis chargés de substances radioactives sont transportés chaque année en France, par voie routière, ferroviaire, maritime ou aérienne. Ces transports sont soumis à des règles strictes, notamment en termes de classification des substances et des colis, qui prescrivent des dispositions destinées à maîtriser la sûreté, en conditions de transport de routine, mais également en cas d'incident ou d'accident.

# Cadre réglementaire relatif au transport de substances radioactives



Les règles techniques et organisationnelles applicables au transport des substances radioactives sont élaborées, depuis 1961, par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

Elles sont intégrées dans le « Règlement de transport de matières radioactives » (figure 1.1), reconnu à travers le monde comme la base des exigences concernant la sûreté du transport de substances radioactives. Ce règlement fait partie des normes de sûreté établies par l'AIEA pour l'ensemble des activités donnant lieu à des risques radiologiques (figure 1.2), qui comportent des *prescriptions de sûreté générales*, portant sur les exigences communes aux différentes activités concernées par l'utilisation de rayonnements ionisants, et des *prescriptions de sûreté particulières*, propres à chaque activité. À ce titre, le « Règlement de transport de matières radioactives » constitue la sixième volet des *prescriptions de*

*sûreté particulières (Specific Safety Requirements – SSR-6).*

La mise en œuvre des différentes *prescriptions de sûreté particulières* s'appuie sur des *guides de sûreté (Specific Safety Guide – SSG)* contenant des préconisations et présentant des « bonnes pratiques » destinées à aider les utilisateurs à s'y conformer. Ainsi, le règlement de transport de matières radioactives est décliné par deux *guides de sûreté*, l'un détaillant les méthodes pouvant être mises en œuvre afin de se conformer aux exigences réglementaires (SSG-26), et l'autre constituant un guide pour le choix du type de colis à utiliser, en fonction des caractéristiques des substances radioactives à transporter, et synthétisant, au cas par cas, les exigences de sûreté applicables (SSG-33).

Le règlement de transport de matières radioactives ainsi que les guides de sûreté associés sont régulièrement mis à jour par des comités d'experts issus des différents États membres de l'AIEA pour tenir compte notamment du retour

d'expérience ainsi que de l'évolution des principes de radioprotection et des techniques de transport. Ainsi, des discussions sont en cours dans le cadre du *Transport Safety Committee (TRANSSC)* de l'AIEA concernant les modifications à apporter à l'édition du règlement en vigueur, publiée en 2012. Ces réflexions, auxquelles participe l'IRSN, pourraient notamment aboutir à une prochaine modification des valeurs de référence servant au calcul des seuils d'activité entrant en considération pour la classification des emballages de transport.

Les règles applicables au transport des substances radioactives sont intégrées dans le « Règlement type sur le transport des marchandises dangereuses » (figure 1.3), aussi appelé « Livre orange », publié par l'Organisation des nations unies (ONU). Ce règlement regroupe les exigences de sûreté relatives aux **neuf classes de matières dangereuses** (figure 1.4), dont les substances radioactives constituent la classe 7.



Figure 1.1 Règlement de l'AIEA sur le transport des substances radioactives



Figure 1.3 Règlement type de l'ONU sur le transport des marchandises dangereuses

## Fondements de sûreté Principes fondamentaux de sûreté

### Prescriptions de sûreté générales

- Partie 1** Cadre gouvernemental, législatif et réglementation pour la sûreté
- Partie 2** Direction et gestion pour la sûreté
- Partie 3** Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements
- Partie 4** Évaluation de la sûreté pour les installations et les activités
- Partie 5** Gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif
- Partie 6** Déclassement et cessation des activités
- Partie 7** Préparation et conduite des interventions d'urgence

### Prescriptions de sûreté particulières

- 1** Évaluation des sites d'installations nucléaires
- 2** Sûreté des centrales nucléaires
  - 2.1** Conception et construction
  - 2.2** Mise en service et exploitation
- 3** Sûreté des réacteurs de recherche
- 4** Sûreté des installations du cycle du combustible nucléaire
- 5** Sûreté des installations de stockage de déchets radioactifs
- 6** Sûreté du transport des matières radioactives

## Collection des guides de sûreté

Figure 1.2 Structure de la collection « Normes de sûreté » de l'AIEA



Les règles applicables au transport des substances radioactives sont intégrées dans le « Livre orange », qui regroupe les exigences de sûreté relatives aux neuf classes de matières dangereuses, dont les substances radioactives constituent la classe 7.

### Les neuf classes de marchandises dangereuses définies dans le « Livre orange »

- Classe 1 :** matières et objets explosibles
- Classe 2 :** gaz (comprimés, liquéfiés ou dissous) inflammables, gaz ininflammables non toxiques, gaz toxiques
- Classe 3 :** liquides inflammables
- Classe 4 :** matières solides inflammables
- Classe 5 :** matières comburantes et peroxydes organiques
- Classe 6 :** matières toxiques et matières infectieuses
- Classe 7 :** matières radioactives
- Classe 8 :** matières corrosives
- Classe 9 :** matières et objets dangereux divers



Figure 1.4  
Logos relatifs aux différentes classes de marchandises dangereuses

### Structure réglementaire pour l'application sur le territoire français des réglementations modales du transport de marchandises dangereuses



Arrêté « TMD » du 29 mai 2009 modifié  
relatif aux transports de marchandises dangereuses  
par voies terrestres



Mer  
Arrêté « RSN »  
du 23 novembre 1987  
modifié relatif  
à la sécurité des navires

Air  
Règlements UE n° 859/2008  
du 20 août 2008  
et UE n° 965/2012  
du 5 octobre 2012

Figure 1.5  
Documents relatifs à la réglementation  
du transport des marchandises  
dangereuses par voies terrestres,  
aériennes ou maritimes

Les exigences de sûreté du règlement de l'AIEA et du « Livre orange » de l'ONU ne sont pas juridiquement contraignantes ; seules **les réglementations dites « modales »**, qui sont propres à chaque mode de transport, le sont, *via* des arrêtés et des directives établies au niveau européen ou national. Ces réglementations « modales » peuvent être établies au niveau international, comme pour le transport de matières dangereuses par voies aériennes (*Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods* de l'Organisation de l'aviation civile internationale) et par voies maritimes (*International Maritime Dangerous Goods code* de l'Organisation internationale maritime), ou à un niveau national ou supranational (comme l'Union européenne). Ainsi, en Europe, les transports par voies terrestres et fluviales sont réglementés par :

- l'accord européen relatif au

transport international des marchandises dangereuses par route (*European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by Road*), dit « ADR » (figure 1.5) ;

- le règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (*Regulations concerning the International carriage of Dangerous goods by rail*), dit « RID » (figure 1.5) ;
- l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieure (*European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by inland waterways*), dit « ADN » (figure 1.5).

En France, c'est l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui est en charge du contrôle de la sûreté des transports de substances radioactives à usage civil.

## Principaux éléments relatifs à la sûreté des transports de substances radioactives

Les exigences liées au transport de substances radioactives concernent toutes les activités associées au mouvement de ces substances sur la voie publique. Ainsi, outre le déplacement des substances radioactives entre le site expéditeur et celui destinataire, sont concernées l'ensemble des étapes nécessaires à ce déplacement, telles que le chargement et le déchargement du ou des emballages utilisés, l'entreposage éventuel en transit ainsi que la conception des emballages, leur fabrication, leur entretien et leur réparation.

Les substances radioactives transportées présentant une grande diversité en termes de formes physiques, de compositions chimiques et de radioactivité, la réglementation de l'AIEA définit plusieurs types d'emballages, auxquels sont associés des critères de performance adaptés aux risques induits par les substances transportées. Ces risques sont notamment de **nature radiologique** (irradiation et contamination des travailleurs ou du public), voire **nucléaire** en présence de matières fissiles (déclenchement d'une réaction en chaîne de fissions divergente appelée « accident de criticité »). Selon les substances transportées, d'autres risques peuvent se présenter, tels

que des **risques de brûlure** du fait de la chaleur produite par la matière radioactive, des risques liés à la **toxicité chimique** et à la nature corrosive de certains matériaux (uranium naturel et hexafluorure d'uranium – UF<sub>6</sub> – notamment) ou des **risques d'explosion de gaz inflammables** produits par décomposition de substances chimiques sous l'effet de rayonnements ionisants (phénomène de radiolyse) ou de la chaleur (phénomène de thermolyse).

Comme pour les installations nucléaires de base (réacteurs électronucléaires, usines de fabrication

et de traitement du combustible nucléaire par exemple), la sûreté des transports de substances radioactives repose sur le concept de « défense en profondeur », *qui s'appuie principalement sur :*

- la robustesse des emballages de transport, qui doivent être conçus pour assurer la maîtrise des risques associés aux substances radioactives transportées, y compris lors de situations accidentelles ; à cet égard, les différentes conditions de transport définies dans la réglementation (conditions de routine, conditions incidentelles et accidentelles) sont simulées

par des épreuves « test » de différents niveaux de sévérité ;

- la conformité et la fiabilité des opérations de transport, fondées sur le respect des exigences réglementaires et des exigences d'exploitation, qui s'appuient notamment sur une formation appropriée du personnel impliqué dans les opérations de transport et sur la prise en compte du retour d'expérience ;
- la mise en œuvre en cas d'accident d'un dispositif de gestion de crise dédié, visant à limiter les conséquences sur les personnes et l'environnement et à mettre en place les mesures nécessaires.

- 1
- 2
- 3



Comme pour les installations nucléaires de base, la sûreté des transports de substances radioactives repose sur le concept de « défense en profondeur ».

**FOCUS**

**Les différents types de colis et les épreuves réglementaires associées**

La réglementation des transports de substances radioactives distingue 5 types de colis (figure 1.6), définis en fonction de la quantité de substances radioactives à transporter (l'activité du contenu) ou de leur dilution dans l'ensemble des matières à transporter (l'activité massique du contenu). Les seuils d'activité ainsi définis dépendent des conséquences radiologiques potentielles associées aux isotopes transportés et de la forme physique de la matière (solide, liquide ou gazeuse). À titre d'exemple, le seuil d'activité au-delà duquel la substance radioactive doit être transportée dans un colis de type B correspond à la quantité de substances susceptible de conduire à une dose reçue, par irradiation, contamination et inhalation, de 50 mSv pour une personne située, pendant 30 minutes, à un mètre de la matière non emballée. Chaque type de colis doit répondre à des exigences adaptées aux risques associés. Ainsi, compte tenu de la quantité très limitée de radioactivité transportée, il n'est pas requis que les colis « exceptés » et ceux de type A soient conçus pour résister à des épreuves de chute et de feu représentatives des conditions accidentelles de transport (figure 1.7). Par contre, les colis de type C, conçus pour le transport aérien de grandes quantités de substances radioactives, doivent être conçus pour résister à des épreuves de sévérité renforcée par rapport à celles applicables aux colis de type B\*.

\* À noter qu'il n'existe pas, en France, de modèle de colis de type C agréé pour le transport de substances radioactives dans le domaine civil.

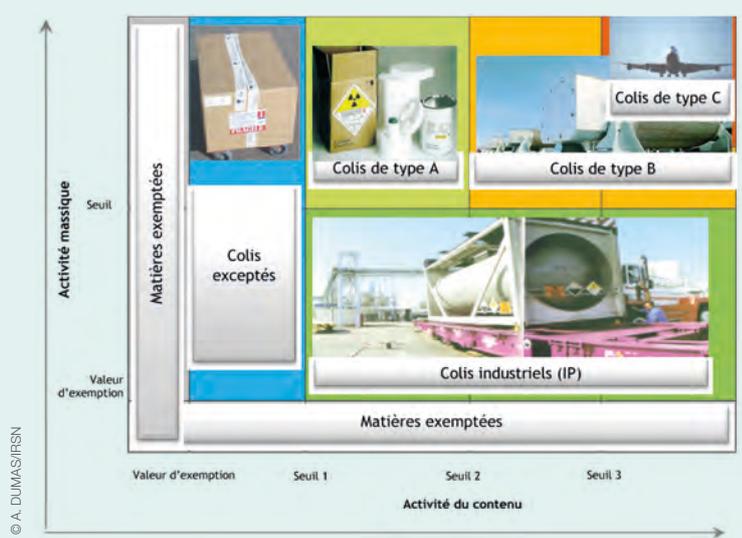


Figure 1.6 Type de colis à utiliser selon l'activité et l'activité massique des substances transportées

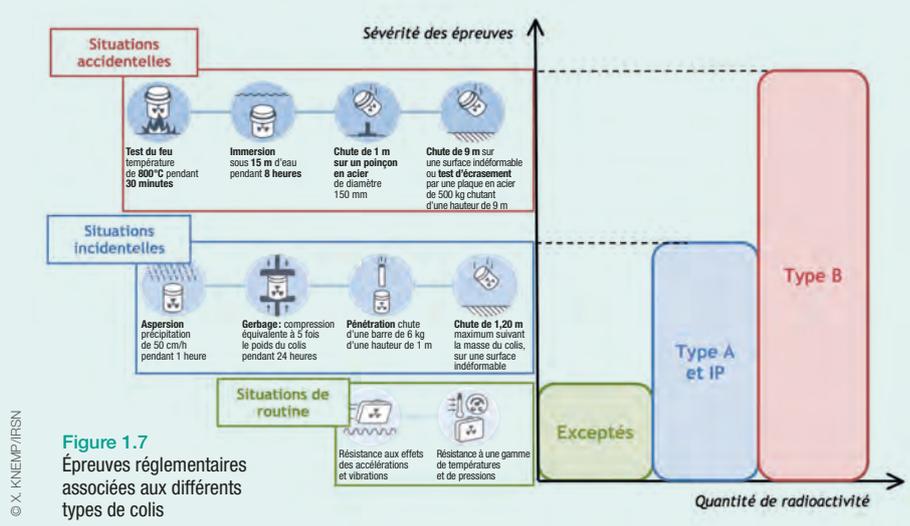


Figure 1.7 Épreuves réglementaires associées aux différents types de colis

# Nature et flux des transports de substances radioactives sur le territoire français

En France, les transports de substances radioactives représentent environ 6 % des transports de matières dangereuses, soit environ 980 000 colis par an.

En France, les transports de substances radioactives représentent environ 6 % des transports de matières dangereuses, soit environ 980 000 colis par an. Ces transports concernent :

- le cycle du combustible nucléaire, par le biais notamment des transports de minerai d'uranium, d'hexafluorure d'uranium, d'assemblages combustibles

neufs ou irradiés, de plutonium issu du traitement des combustibles irradiés, des déchets ainsi que d'outillages et de matériels contaminés dans les réacteurs électronucléaires (figure 1.8) ; ces transports sont principalement réalisés dans des **colis industriels** et des **colis de type B** ;

- le domaine médical, concerné par des transports de sources radioactives (sous forme solide pour la radiothérapie et sous forme liquide pour la scintigraphie)

principalement expédiées par voie routière ou aérienne dans des colis exceptés et des colis de type A ;

- les secteurs industriels non nucléaires et les acteurs du contrôle technique, concernés par des transports de sources radioactives scellées utilisées dans des irradiateurs industriels (notamment à des fins de stérilisation pour l'industrie pharmaceutique et l'agro-alimentaire) ainsi que d'appareils de mesure (gammagraphes utilisés pour des

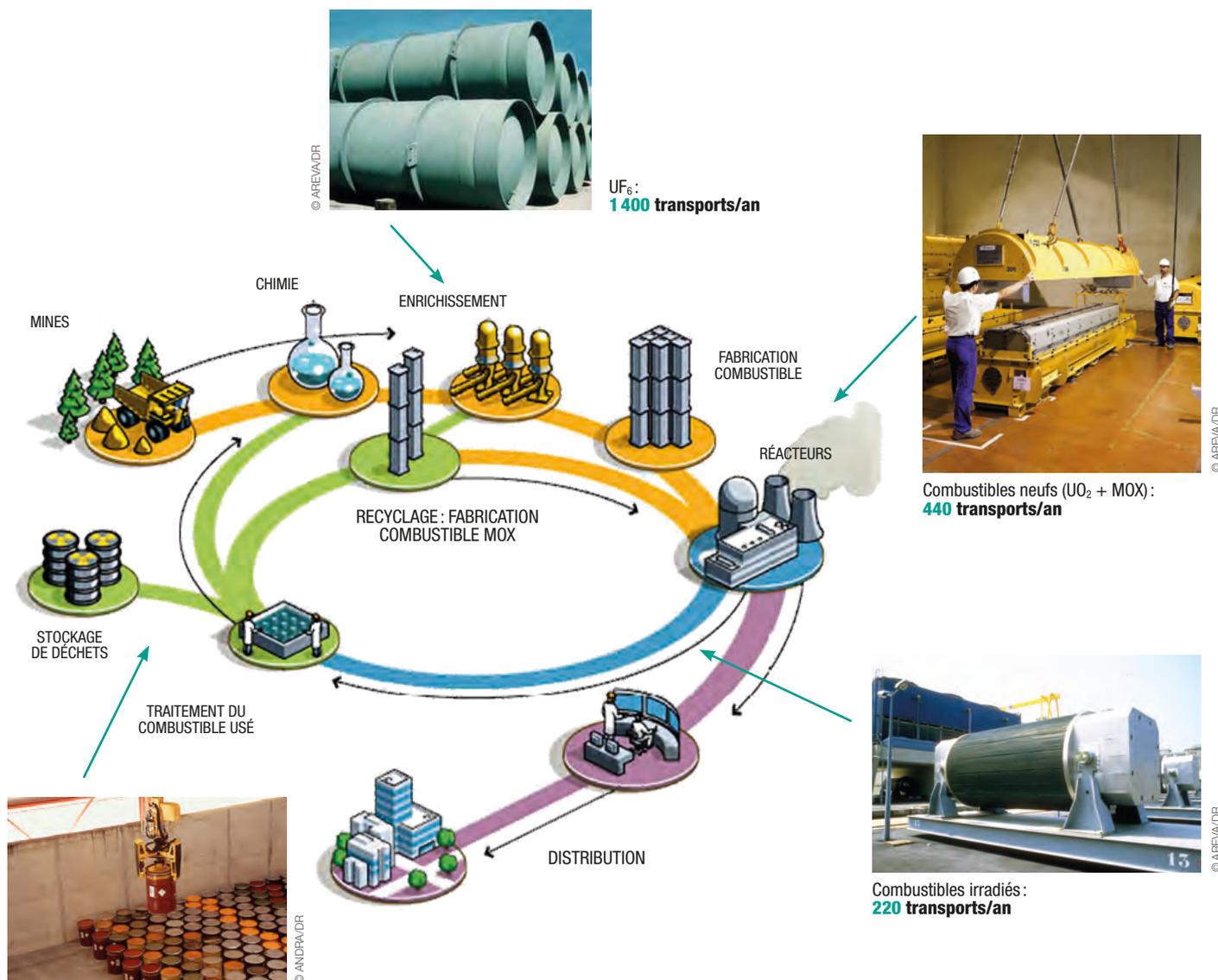


Figure 1.8 Le cycle du combustible nucléaire et les différents transports de substances radioactives associés



radiographies industrielles dans l'aéronautique, l'automobile et la métallurgie par exemple [colis de type B], ou encore gammadensimètres utilisés par le secteur du bâtiment et des travaux publics [colis de type A] et analyseurs de plomb utilisés pour des diagnostics dans le domaine de l'immobilier [colis exceptés];

- la recherche, concernée par des transports de sources radioactives destinées à la recherche en biologie cellulaire et de matériaux activés ou d'éléments combustibles irradiés vers des centres de recherches nucléaires et des universités; ces transports sont principalement réalisés dans des colis exceptés ou des colis de type A.

Les répartitions des flux de transport<sup>2</sup> sont illustrées par secteurs d'activité et par types de colis respectivement dans les figures 1.9 et 1.10.

Le principal mode de transport des colis de substances radioactives est le transport routier; environ 96 % des colis sont transportés exclusivement par route. Les 4 % de colis restants font l'objet de transports combinés, notamment par route et air (environ 3 % des colis) et par route, mer et rail (environ 1 % des colis).

Figure 1.9  
Flux de transport par secteurs d'activité

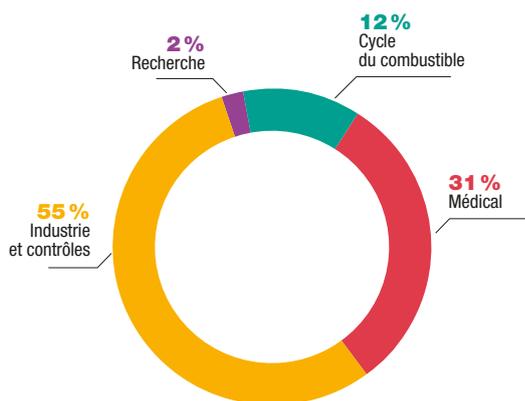
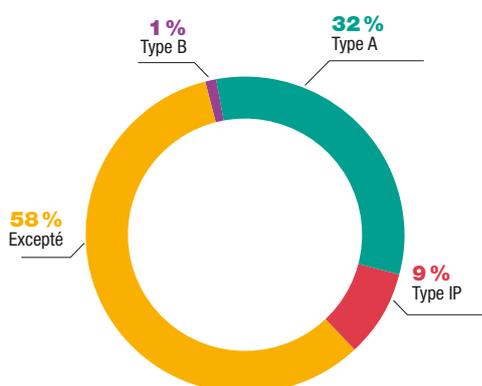


Figure 1.10  
Flux de transport par types de colis



1. Une présentation détaillée des différents acteurs impliqués ainsi que des différents types de colis utilisés est disponible dans [le précédent rapport public du même type concernant les années 2012 et 2013](#) (rapport dénommé « Sûreté des transports de substances radioactives à usage civil sur le territoire français - Enseignements tirés par l'IRSN de l'analyse des événements significatifs déclarés en 2012 et 2013 »).

2. L'ensemble des chiffres et des répartitions de flux de transport considérés dans le présent rapport sont issus d'une [collecte d'informations réalisée par l'ASN](#) en 2012 auprès de l'ensemble des expéditeurs de substances radioactives.



**Le principal mode de transport des colis de substances radioactives est le transport routier; environ 96 % des colis sont transportés exclusivement par route.**

#### Quels sont les types de colis qui nécessitent un agrément de l'Autorité de sûreté nucléaire ?

Seuls les colis de types B et C ainsi que les colis contenant des matières fissiles en quantités supérieures à certains seuils réglementaires (figure 1.6) ou contenant plus de 100 g d'hexafluorure d'uranium doivent faire l'objet d'un agrément. Pour les colis à usage civil, c'est l'ASN qui délivre les agréments et valide ceux émis par les autorités étrangères; dans ce but, l'ASN fait appel à l'IRSN pour l'expertise technique du dossier de sûreté préparé par l'industriel.

A contrario, les colis exceptés, de type A et de type IP dont les quantités de matières fissiles et d'hexafluorure d'uranium sont inférieures aux seuils réglementaires peuvent être transportés sans agrément délivré par l'ASN. L'analyse de sûreté et les dossiers de conformité des transports impliquant ces colis sont cependant gardés à disposition de l'ASN, qui peut en contrôler le contenu dans le cadre d'inspections.

# 2



## Analyse globale des évènements

Éléments relatifs à la déclaration d'un évènement survenu au cours d'un transport de substances radioactives

Bilan des évènements et analyse des principales tendances observées au cours des années 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes

Analyse des principaux types d'évènements survenus en 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes

La réglementation spécifique que tout évènement significatif survenant dans le cadre des opérations de transport de substances radioactives, qu'il ait donné lieu ou non à des conséquences radiologiques, est déclaré à l'ASN. Par ailleurs, les évènements significatifs font l'objet d'un compte rendu détaillé transmis également à l'ASN, présentant notamment les causes identifiées, les conséquences réelles ou potentielles ainsi que les actions correctives destinées à éviter leur répétition.

Ce chapitre présente les résultats de l'analyse globale par l'IRSN des évènements « transport » survenus au cours des années 2014 et 2015 et les principales tendances observées par rapport aux années précédentes. Cette analyse s'efforce notamment d'identifier les améliorations ou dégradations constatées en référence au précédent rapport public. Par ailleurs, les thématiques (conditions d'exploitation, aspects liés au management de la sûreté...) qui nécessiteraient davantage de vigilance de la part des acteurs du transport sont également discutées.

## Éléments relatifs à la déclaration d'un événement survenu au cours d'un transport de substances radioactives



Conformément au [guide de déclaration des événements](#) publié par l'ASN en 2005, la déclaration à l'autorité de sûreté compétente des événements survenus dans le cadre des activités relatives au transport de substances radioactives est de la responsabilité de l'expéditeur du ou des colis impliqués.

Outre les événements survenus lors de l'acheminement, l'expéditeur est tenu de déclarer tout événement significatif et tout écart à une prescription réglementaire identifiés lors des opérations de chargement, de déchargement ou de contrôle des colis, avant et après le transport réalisé sur la voie publique.

L'expéditeur peut mandater le transporteur pour la déclaration des événements survenant lors de la phase d'acheminement.

Le guide de l'ASN comporte notamment un formulaire type pouvant être utilisé par les expéditeurs et les transporteurs pour la déclaration d'événement. D'après l'arrêté TMD, un événement « significatif », c'est-à-dire relevant d'au moins un des critères de déclaration définis dans le guide ([tableau 2.1](#)), doit être déclaré dans un délai d'au plus 2 jours ouvrés suivant sa détection. En outre, tout événement significatif doit faire l'objet, dans un délai de deux mois, d'un compte rendu détaillé, qui complète les informations transmises lors de la déclaration de l'événement, analyse ses causes et ses conséquences potentielles ou réelles (notamment sur la base de résultats de mesures radiologiques) et décrit les dispositions techniques et organisationnelles mises en œuvre pour éviter qu'il ne se renouvelle. Par ailleurs, chaque déclaration d'événement significatif comporte une proposition de classement sur [l'échelle](#)

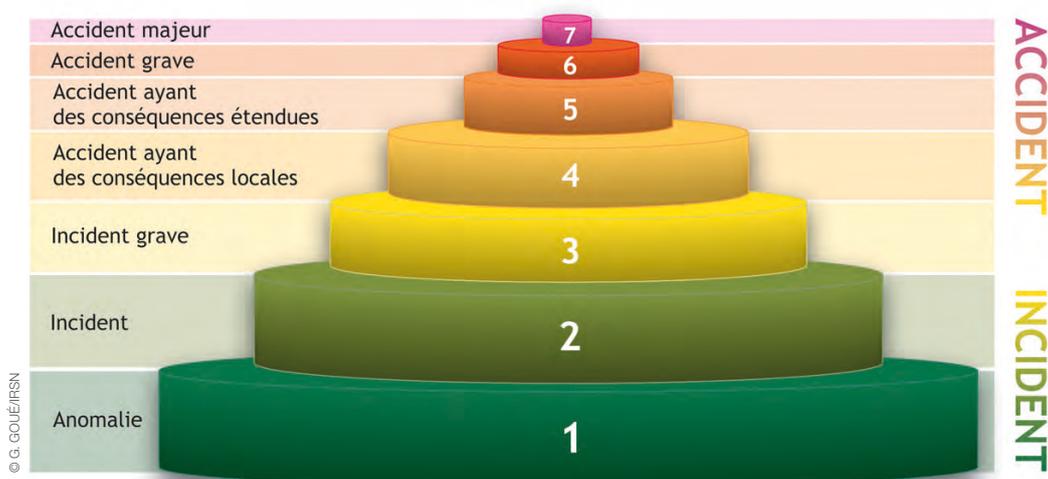
[INES](#) ([figure 2.1](#)). Les déclarations d'événement significatif et les comptes rendus associés sont transmis à l'ASN ainsi qu'à l'IRSN, son appui technique, qui en font une analyse régulière.

Par ailleurs, le guide de déclaration des événements précise que les informations relatives à des événements qualifiés d'« intéressant la sûreté », par exemple dont l'importance immédiate ne justifie pas une analyse individuelle, mais qui peuvent présenter un caractère répétitif nécessitant une analyse, doivent également être transmises à l'ASN dès lors que ces événements concernent une exigence réglementaire.

Dans la suite du présent rapport, ces événements sont ceux classés dans la catégorie « hors échelle INES » (dénommée également « en dessous de l'échelle » - [figure 2.1](#)).



**Outre les événements survenus lors de l'acheminement, l'expéditeur est tenu de déclarer tout événement significatif et tout écart à une prescription réglementaire identifiés lors des opérations de chargement, de déchargement ou de contrôle des colis, avant et après le transport réalisé sur la voie publique.**



EN DESSOUS DE L'ÉCHELLE / NIVEAU 0  
AUCUNE IMPORTANCE DE POINT DE VUE DE LA SÛRETÉ

Figure 2.1  
Les niveaux de gravité de l'échelle INES

### « Critères de déclaration des évènements significatifs de transport de matières radioactives » figurant dans le guide de déclaration de l'ASN publié en 2005

<b>Critère 1</b>	Perte ou vol d'un colis de matières radioactives lors d'un transport
<b>Critère 2</b>	Expédition d'un colis alors que le destinataire n'est pas en mesure d'être livré
<b>Critère 3</b>	Découverte fortuite d'un colis de matières radioactives issu d'un transport n'ayant pas fait l'objet de déclaration de perte
<b>Critère 4</b>	Évènement, quelle qu'en soit la gravité, dès qu'il serait susceptible de conduire à des interprétations erronées ou malveillantes dans les médias ou le public
<b>Critère 5</b>	Acte de malveillance constaté ou tentative d'acte de malveillance susceptible d'affecter la sûreté du transport
<b>Critère 6</b>	Agression due, soit à des phénomènes naturels, soit à des activités humaines ayant affecté réellement ou potentiellement la sûreté du transport
<b>Critère 7</b>	Évènement d'origine nucléaire ou non, ayant entraîné mort d'homme ou blessure grave nécessitant une évacuation du ou des blessés vers un centre hospitalier, lorsque l'origine des blessures est en rapport direct avec la sûreté du transport
<b>Critère 8</b>	Défaut, dégradation ou défaillance ayant affecté une fonction de sûreté qui a eu ou aurait pu avoir des conséquences significatives
<b>Critère 9</b>	Évènement ayant affecté une ou plusieurs barrières interposées entre la matière radioactive et les personnes, et ayant entraîné, ou ayant pu entraîner, une dispersion de ces substances ou une exposition significative des personnes aux rayonnements ionisants au regard des limites fixées par la réglementation
<b>Critère 10</b>	Non-respect des exigences réglementaires du transport de matières radioactives qui a eu ou aurait pu avoir des conséquences significatives
<b>Critère 11</b>	Évènement, même mineur, affectant une fonction de sûreté, dès lors qu'il présente un caractère répétitif dont la cause n'a pas été identifiée ou qui est susceptible d'être précurseur d'incidents
<b>Critère 12</b>	Non-respect de l'une des limites réglementaires applicables à l'intensité de rayonnement ou à la contamination
<b>Critère 13</b>	Tout autre évènement susceptible d'affecter la sûreté des transports jugé significatif par l'exploitant ou par l'Autorité de sûreté nucléaire

Tableau 2.1  
Critères de déclaration des évènements « transport » figurant dans le guide de déclaration des évènements de l'ASN de 2005



En 2014 et en 2015, respectivement 139 et 122 évènements « transport » ont été déclarés à l'ASN. Ceci constitue une augmentation notable par rapport à l'année 2013, au cours de laquelle 98 évènements seulement avaient été déclarés.

## Bilan des évènements et analyse des principales tendances observées au cours des années 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes

La méthode de recensement des évènements retenue est similaire à celle présentée dans les [rapports de même nature publiés par l'IRSN](#). Aussi, les évènements se rapportant à des opérations de transport, dans le périmètre d'une installation nucléaire de base (INB), de colis qui ne sont pas destinés au transport sur la voie publique, ainsi que les évènements concernant des transports dont l'expéditeur est étranger (à l'exception de ceux ayant eu des conséquences en France), ne sont pas considérés dans le présent rapport<sup>1</sup>. Il en est de même pour les évènements « transport » intéressant les activités de la défense nationale<sup>2</sup>.

Pour son analyse, l'IRSN tient compte de l'ensemble des évènements de transport déclarés, en incluant les évènements « intéressant la sûreté » et qui ne sont pas présentés dans les [rapports sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France](#) de l'ASN. Ce choix s'explique par la volonté de l'IRSN de considérer l'ensemble du retour d'expérience disponible et d'analyser à périmètre constant l'évolution du nombre d'évènements déclarés. Ceci concerne notamment certains évènements comme les endommagements de colis sans conséquence directe pour la sûreté et la radioprotection, qui sont davantage classés « hors échelle INES » ces dernières années, alors qu'ils étaient par le passé majoritairement classés au niveau 0 de cette échelle.

### Nombre d'évènements déclarés et classement de ces évènements sur l'échelle INES

En 2014 et en 2015, respectivement 139 et 122 évènements « transport » ont été déclarés à l'ASN. Ceci constitue une augmentation notable par rapport à l'année 2013, au cours de laquelle 98 évènements seulement avaient été déclarés (figure 2.2). Au regard des flux annuels de transport de substances radioactives, la fréquence de survenue d'un évènement a été, en 2014 et 2015, en moyenne d'environ un évènement pour 7 500 colis transportés (la moyenne étant de l'ordre de 1/10 000 pour la période 1999-2013).

1. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2013, les opérations de transport interne sont soumises aux exigences de l'arrêté dit « INB », publié le 7 février 2012, qui prévoit qu'elles soient intégrées au référentiel de sûreté des INB. Notamment, pour les INB autres que les réacteurs électronucléaires, les évènements associés à ces opérations sont considérés dans les [rapports de l'IRSN relatifs à la sûreté des INB civiles autres que les réacteurs du parc électronucléaire français](#).

2. Les aspects relatifs à la protection des transports contre la malveillance font l'objet d'une réglementation spécifique et d'actions de l'IRSN en support à l'autorité compétente.

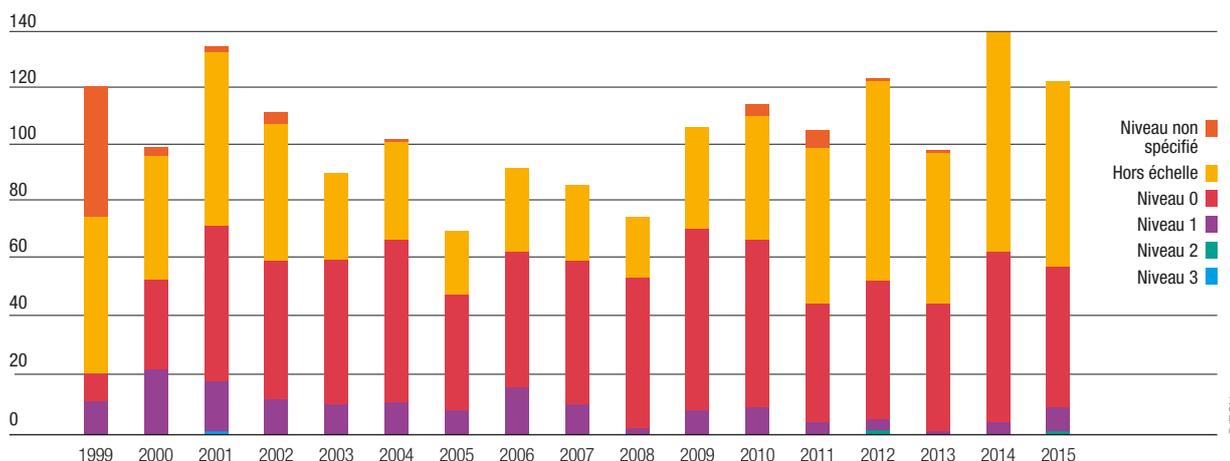


Figure 2.2  
Nombre annuel d'événements déclarés à l'ASN depuis 1999  
et classement sur l'échelle INES

Pour autant, l'IRSN estime que cette tendance ne doit pas être interprétée comme une dégradation du niveau de sûreté des transports de substances radioactives. En effet, elle s'explique en grande partie par une meilleure déclaration d'événements « mineurs » pour la sûreté.

À cet égard, comme le suggère l'analyse présentée dans la suite de ce chapitre, l'augmentation du nombre d'événements « intéressant la sûreté » (événements classés « hors échelle INES » - tableau 2.2) constatée en 2014 et 2015 peut s'expliquer par une meilleure connaissance de la part des expéditeurs et des transporteurs des exigences réglementaires relatives à la déclaration des événements et par une plus grande vigilance à l'égard de certains types d'événements, qui apparaissent sans conséquence directe pour la

sûreté. Ce constat, particulièrement marqué en 2014 pour les acteurs du nucléaire dit « de proximité », confirme l'intérêt des campagnes de sensibilisation menées par l'ASN auprès des « petits » expéditeurs.

Le nombre d'événements classés aux niveaux 1 et 2 sur l'échelle INES (tableau 2.2) apparaît, en 2015, plus élevé que lors des 4 années précédentes (8 événements classés au niveau 1 et un au niveau 2). En particulier, en 2015, 3 événements, auxquels s'ajoute un événement en 2014 (tableau 2.3), ont concerné des transports de gammagraphes, avec notamment des défauts de verrouillage de la protection radiologique de ces instruments (défaut technique de l'obturateur ou transport réalisé avec la clé de verrouillage engagée). Une analyse de cette situation est proposée au chapitre 3 du présent rapport.



**Au cours des années 2014 et 2015, un nombre significatif d'événements classés au niveau 1 ou 2 sur l'échelle INES a concerné des transports de gammagraphes.**

3. Dans son rapport sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2014, l'ASN a répertorié uniquement 3 événements « transport » de niveau 1 sur l'échelle INES. Ceci s'explique par le fait que l'événement survenu le 29 août 2014 (cf. tableau 2.3), concernant un écart sur les caractéristiques de substances radioactives, ayant eu des conséquences sur la sûreté en entreposage et en transport, il a été comptabilisé par l'ASN uniquement comme un événement « installation ». L'aspect « installation » de cet événement a également été pris en compte par l'IRSN dans son [rapport sur la sûreté des installations nucléaires de base autres que les réacteurs électronucléaires portant sur la période 2013-2014](#).

Classement INES	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Non spécifié	4	6	1	1	0	0
Hors échelle	43	54	69	52	76	64
Niveau 0	58	41	48	44	59	49
Niveau 1	9	4	4	1	4 <sup>3</sup>	8
Niveau 2	0	0	1	0	0	1
<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>105</b>	<b>123</b>	<b>98</b>	<b>139</b>	<b>122</b>

Tableau 2.2  
Classement sur l'échelle INES  
des événements déclarés  
entre 2010 et 2015

**Tableau 2.3**  
Événements « transport »  
classés au niveau 1 et 2  
de l'échelle INES déclarés  
en 2014 et 2015

Date	Colis	Nature de l'évènement	Classement INES
06/08/2014	« Cylindre » d'UF <sub>6</sub> vide	Absence de réalisation d'un contrôle visuel de l'état des pattes de levage d'un « cylindre » d'UF <sub>6</sub> avant sa manutention	1
06/08/2014	Gammagraphe (colis de type B)	Transport d'un gammagraphe avec sa clé de verrouillage insérée	1
29/08/2014	Colis de type industriel chargé de combustible neuf	Transport d'éléments combustibles ayant une densité d'uranium fissile supérieure à celle retenue dans la démonstration de sûreté-criticité	1
23/10/2014	« Cylindres » d'UF <sub>6</sub>	Écart relevé lors de la réalisation des tests d'étanchéité de 160 « cylindres » d'UF <sub>6</sub> (pression inférieure à la valeur fixée dans la norme applicable)	1
13/02/2015	Gammagraphe (colis de type B)	Défaut d'arrimage d'un gammagraphe	1
02/03/2015	Gammagraphe (colis de type B)	Défaut de verrouillage d'un gammagraphe et transport en dehors de sa coque de protection	2
11/03/2015	Colis excepté	Contenu dont la masse de matière fissile excède la valeur maximale autorisée pour ce type de colis	1
27/03/2015	Colis excepté	Contenu dont la masse de matière fissile excède la valeur maximale autorisée pour ce type de colis	1
04/05/2015	Colis de type A	Erreur de livraison	1
26/06/2015	Gammagraphe (colis de type B)	Défaut de verrouillage d'un gammagraphe	1
13/08/2015	Citerne (colis de type industriel)	Non-conformité de plusieurs citernes d'effluents liquides (absence de notice d'utilisation et de maintenance et réalisation d'opérations d'emportage à une température excessive)	1
04/09/2015	Générateur de technétium (colis de type A)	Perte de traçabilité pendant 24 jours d'un colis lors d'un transfert entre l'hôpital Cochin (Paris) et la société CIS Bio International (Saclay)	1
05/11/2015	Colis de type B chargé de combustible irradié	Non-conformité d'un emballage par rapport à son dossier de sûreté	1

### Événement de perte temporaire d'un générateur de technétium

Les générateurs de technétium (figure 2.3) sont des appareils utilisés dans le domaine médical pour produire, par décroissance radioactive d'une source de molybdène 99, du technétium 99 servant de traceur radioactif lors d'exams d'imagerie médicale.

En raison d'un défaut technique sur l'un de ces générateurs, l'hôpital Cochin (Paris) a contacté, le 3 septembre 2015, le fabricant de l'appareil (société CIS Bio International, implantée à Saclay - Essonne), afin qu'il le récupère pour expertise. Après sa prise en charge, le lendemain, par un chauffeur de la société de transport mandatée par le fabricant, le générateur (colis de type A) est resté introuvable jusqu'au 28 septembre 2015. À cette date, il a été localisé dans une zone d'entreposage dans les locaux du fabricant.

Cette perte de traçabilité du colis a eu comme origine un dysfonctionnement du scanner utilisé par le fabricant pour enregistrer les « bons de retour » accompagnant les colis récupérés chez les clients, ainsi qu'une absence de remise, par le client expéditeur, du « bon de retour pour expertise » devant être utilisé en cas de retour d'un appareil défectueux. Ceci a conduit le magasinier de la société CIS Bio International à placer le colis dans une zone d'entreposage inappropriée.



**Figure 2.3**  
Exemples de générateur renfermant une source radioactive de technétium (photo du haut) et de conteneur de transport de ce type de générateur (photo du bas)

### Répartition des événements par secteur d'activité

Comme observé  lors des précédentes années, la répartition par secteur d'activité du nombre d'événements déclarés (tableau 2.4), rapportée au flux de transport, fait apparaître de fortes disparités entre l'industrie nucléaire (le cycle du combustible et la recherche nucléaire) et le nucléaire dit « de proximité » (l'industrie non nucléaire, les contrôles techniques ainsi que le secteur médical). En 2014 et 2015, ce

constat se trouve renforcé du fait notamment de l'augmentation du nombre des événements dans le secteur du cycle du combustible nucléaire (figure 2.4).

**L'IRSN considère que cette différence n'est probablement pas la conséquence de pratiques moins performantes de la part des acteurs du cycle du combustible nucléaire (expéditeurs et transporteurs), mais que, plus vraisemblablement, elle résulte d'une meilleure efficacité de leur processus de détection et de déclaration des événements.**

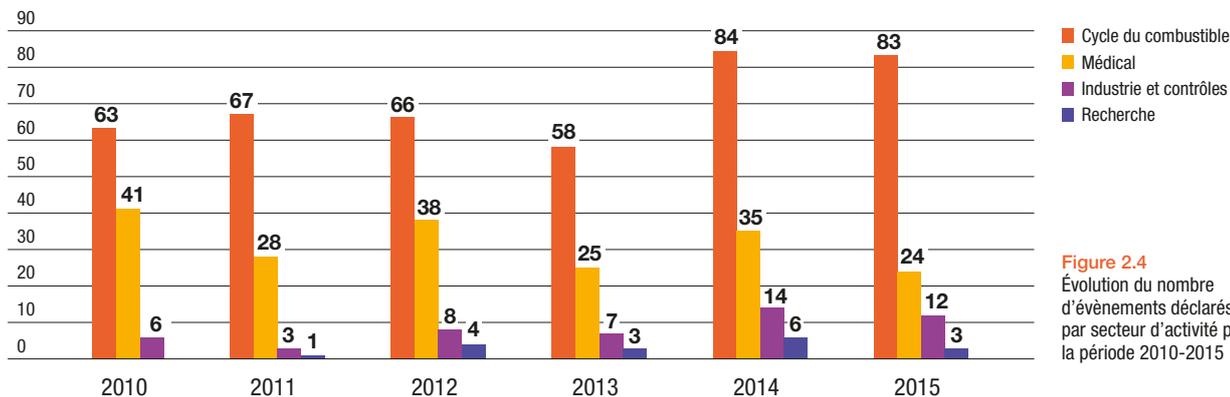


Figure 2.4  
Évolution du nombre d'événements déclarés par secteur d'activité pendant la période 2010-2015

Dans le détail, en 2014 et 2015 :

- la « sur-représentation » du secteur du cycle du combustible est principalement marquée pour les événements relatifs à des « contenus non conformes » (95 % du total des événements déclarés de ce type), pour les événements portant sur la documentation de transport et l'étiquetage des colis, les défauts de fermeture et les non-conformités de colis, ainsi que pour les événements de nature radiologique. Pour ces types d'événements, le secteur du cycle du combustible représente de l'ordre de 80 % du total des événements déclarés ;
- les événements impliquant des colis destinés à des activités médicales concernent, pour moitié, des endommagements de colis, notamment lors de manutention en zones aéroportuaires. Le deuxième motif de déclaration concerne des vols et des pertes de colis (15 % des événements concernant ce secteur d'activité) ayant également principalement lieu lors des transits en aéroport. Ces constats sont similaires à ceux des années précédentes ;
- le nombre d'événements déclarés par les acteurs de l'industrie non nucléaire et des contrôles techniques a connu une augmentation, avec un nombre d'événements multiplié par deux par rapport aux années 2012

et 2013. Les principaux motifs de déclaration portent sur des écarts de nature réglementaire (erreurs dans les documents de transport et l'étiquetage des colis et autres écarts découlant d'une mauvaise application de la réglementation).

À cet égard, plusieurs des sociétés ayant déclaré des événements en 2014 et 2015, en tant que destinataire ayant identifié un écart ou une non-conformité ou qu'expéditeur ayant fait remonter l'information à l'ASN, ont déjà été concernées par des événements déclarés au cours des années précédentes, ou ont fait l'objet d'inspections récentes par l'ASN. Ces inspections ont notamment été réalisées dans le cadre du renforcement des contrôles auprès des acteurs du « nucléaire de proximité ».

**Pour l'IRSN, les actions mises en œuvre par l'ASN, telles que les notes d'information à destination des sociétés concernées et les inspections, ont vraisemblablement eu un impact positif en termes de sensibilisation de leurs per-**

**sonnels aux exigences réglementaires et aux pratiques de détection et de déclaration d'événements.**

**Toutefois, eu égard au nombre important de sociétés concernées, en tant qu'expéditeurs ou transporteurs, et au nombre de colis transportés (de l'ordre de 540 000 chaque année, soit plus de la moitié du nombre de colis transportés annuellement en France), le nombre d'événements déclarés reste faible comparé au cycle du combustible nucléaire (tableau 2.4).**

**Pour l'IRSN, les actions d'amélioration des pratiques de détection et de déclaration d'écarts réglementaires sont donc à poursuivre ;**

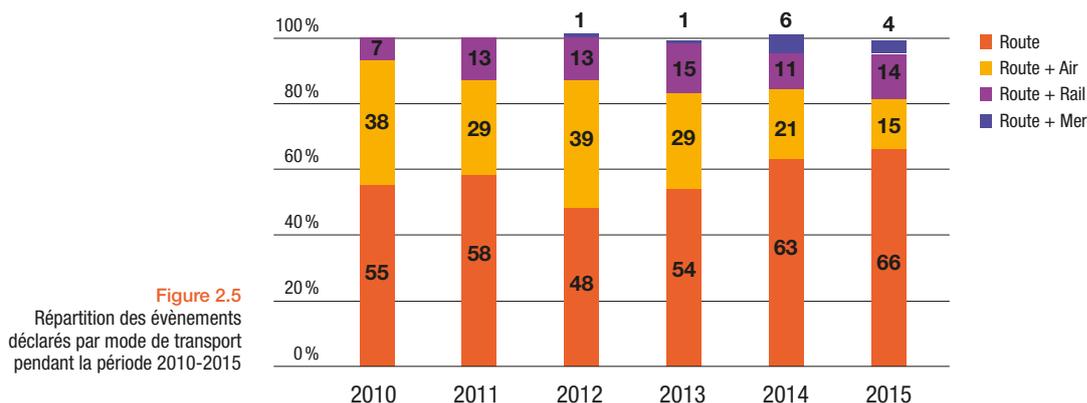
- le secteur de la recherche a été concerné par 9 événements, ce qui est comparable à ce qui a été observé durant les années précédentes.

Tableau 2.4  
Fréquence des événements déclarés par secteur d'activité pendant la période 2014-2015

Secteur d'activité	Fréquence des événements (2014-2015)
Cycle du combustible	1 / 1 400 colis
Médical	1 / 10 300 colis
Industrie et contrôles	1 / 41 600 colis
Recherche	1 / 4 400 colis



Comme observé lors des précédentes années, la répartition par secteur d'activité du nombre d'événements déclarés, rapportée au flux de transport, fait apparaître de fortes disparités entre l'industrie nucléaire et le nucléaire dit « de proximité ».



**Figure 2.5**  
Répartition des événements déclarés par mode de transport pendant la période 2010-2015

#### Quel conditionnement pour le transport d'uranium naturel ?

Les concentrés uranifères (« yellow cake ») élaborés sur les sites miniers exploités par Areva à l'étranger (Niger, Canada, Australie, Afrique du Sud) sont conditionnés dans des fûts cylindriques de type industriel (IP) de 200 litres, en acier, mesurant environ 90 cm de haut et 60 cm de diamètre et pouvant contenir jusqu'à 350 kg de matière (figure 2.6).

Ces fûts sont ensuite placés dans des conteneurs standards de type « ISO 20 pieds » (environ 36 emballages par conteneur) pour leur transport par voie maritime et routière vers l'usine Areva NC de Malvési (près de Narbonne). Dans cette usine, l'uranium naturel est transformé en UF<sub>4</sub> avant d'être transporté, en colis de type IP, vers l'usine Areva NC de Pierrelatte, pour y être converti en UF<sub>6</sub>.



**Figure 2.6**  
Entreposage des fûts d'uranium naturel avant conversion en UF<sub>4</sub> dans l'usine de Malvési

#### Répartition des événements par mode de transport

Près des deux tiers des événements déclarés en 2014 et 2015 concernent un transport effectué exclusivement par voie routière (figure 2.5), dont 70 % imputables aux activités du cycle du combustible. Parmi ces événements, 2 collisions routières ont été recensées en 2014 et 5 en 2015, sans conséquence sur la sûreté des colis transportés.

Le transport aérien est le deuxième mode de transport en termes d'événements déclarés. 60 % de ces événements concernent des endommagements de colis lors de leur manutention en zones aéroportuaires. La seconde cause est la perte de colis, en transit ou à l'aéroport d'arrivée. Proportionnellement, le nombre total d'événements, notamment liés à des endommagements de colis, déclarés lors de transports aériens, entre 2014 et 2015, a diminué par rapport aux années précédentes.

Tous les événements survenus au cours d'un transport par voie ferroviaire (figure 2.5) en 2014

et 2015 ont concerné des activités du cycle du combustible. Ceci s'explique par le fait que les acteurs du nucléaire « de proximité » ne font que rarement appel à ce mode de transport, compte tenu des caractéristiques des colis expédiés (faibles masses et dimensions). En effet, le transport ferroviaire est principalement utilisé pour le transport de colis de type B chargés de combustibles irradiés et de colis de type industriel tels que des citernes d'effluents radioactifs et des « cylindres » chargés d'UF<sub>6</sub>. Les principaux critères de déclaration d'événement sont des écarts portant sur la documentation de transport et l'étiquetage des colis ainsi que des écarts de nature radiologique (notamment des contaminations de lèche-frite de wagons chargés de colis de combustibles irradiés).

**À cet égard, pour l'IRSN, la fréquence élevée de déclaration d'événement pour ces transports (un événement tous les 200 colis expédiés en 2014 et 2015 – tableau 2.5) peut s'expliquer par le fait que les contrôles documentaires et radiologiques associés à ces transports sont renforcés du fait du caractère sensible des matières transportées.**

**Près des deux tiers des événements déclarés en 2014 et 2015 concernent un transport effectué exclusivement par voie routière, dont 70 % imputables aux activités du cycle du combustible.**

**Tableau 2.5**  
Fréquence des événements déclarés par mode de transport pendant la période 2014-2015

Mode de transport	Fréquence des événements (2014-2015)
Route	1 / 11 000 colis
Route + Air	1 / 2 100 colis
Route + Rail	1 / 200 colis
Route + Mer	1 / 7 400 colis

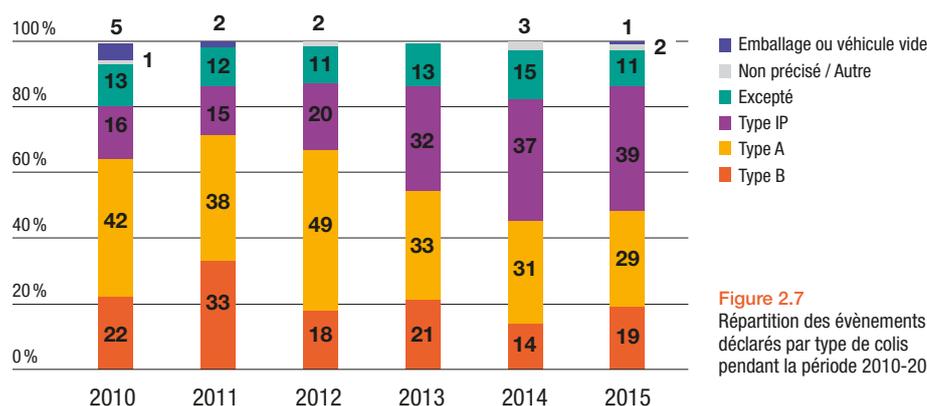


Figure 2.7  
Répartition des événements déclarés par type de colis pendant la période 2010-2015

Parmi les événements déclarés, un déraillement, survenu le 19 mars 2014, a été recensé. Il concernait le locotracteur d'une rame composée de 14 wagons chargés de colis contenant de l'uranium appauvri, qui est sorti partiellement de la voie à faible vitesse sans occasionner de dommage aux colis et sans conséquence radiologique.

Enfin, le nombre d'événements impliquant un transport maritime (transport combiné par route et mer ou par route, mer et rail) a connu une hausse en 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes. Ceci s'explique par le nombre important d'événements de contamination de **fûts chargés d'uranium naturel** en provenance des mines exploitées par Areva (12 des 13 événements déclarés en 2014 et 2015 pour ce mode de transport – cf. § ci-après « Événements de nature radiologique », p.18).

### Répartition des événements par type de colis

Alors que, de 1999 à 2013, les colis de type A étaient ceux pour lesquels le nombre d'événements déclarés était le plus élevé (figure 2.7), les années 2014 et 2015 se distinguent par un plus grand nombre d'événements impliquant des colis de type industriel (IP). À cet égard, leur fréquence de déclaration rapportée au flux de transport (1 événement pour 1 800 colis transportés – tableau 2.6) a doublé par rapport à la période 2012-2013 (1 événement pour 4 000 colis transportés). Cette augmentation s'explique principalement par le nombre

élevé d'événements de nature radiologique et documentaire ayant affecté, en 2014 et 2015, des colis de type industriel expédiés par des acteurs du cycle du combustible (outillages contaminés et déchets de faible activité spécifique expédiés par EDF et uranium sous forme de minerai expédié depuis les installations minières exploitées par le groupe Areva).

Le nombre d'événements impliquant des colis de type A est quasi constant ces deux dernières années (avec 39 événements par an en moyenne, contre 37 déclarés en 2012-2013 et 35 sur la période 1999-2011). Plus du tiers de ces événements concerne un endommagement de colis destiné au secteur médical lors de sa manutention en zone aéroportuaire.

Le nombre d'événements impliquant des colis de type B, qui avait connu une forte hausse en 2011, compte tenu d'un nombre élevé de défauts de serrage de vis de capots amortisseurs des emballages et de la mise en évidence de « corps étrangers » (objets ou matières non prévus au plan de chargement de l'emballage) dans leur cavité, est revenu, depuis 2012, à un niveau comparable à celui des années précédentes

(de l'ordre d'une vingtaine d'événements par an). En 2014 et en 2015, le principal motif de déclaration reste, comme pour les années précédentes, relatif à des écarts de nature documentaire.

**Pour l'IRSN, comme pour le transport ferroviaire, la fréquence élevée de déclaration d'événements pour ce type de colis (un événement tous les 460 colis expédiés en 2014 et 2015) peut s'expliquer par le fait que les contrôles associés sont réalisés avec une rigueur accrue du fait de la quantité importante de radioactivité transportée et du caractère moins « routinier » de ces transports par rapport aux autres types de colis.**

Enfin, le nombre d'événements concernant des colis exceptés a connu une hausse sensible en 2014, avec 21 événements déclarés contre respectivement 11 et 10 événements en 2012 et 2013. Cette augmentation est principalement imputable au secteur industriel et des contrôles techniques (8 événements déclarés en 2014 contre un seul en 2012 et aucun en 2013). **Pour l'IRSN, ce constat est à mettre en parallèle avec l'amélioration du processus de déclaration d'événement par certains de ces acteurs industriels.**

Type de colis	Fréquence des événements (2014-2015)
Type B	1 / 460 colis
Type A	1 / 8 000 colis
Type IP	1 / 1 800 colis
Excepté	1 / 32 600 colis

Tableau 2.6  
Fréquence des événements déclarés par types de colis pendant la période 2014-2015



En 2014 et en 2015, le principal motif de déclaration d'événements impliquant des colis de transport de combustible utilisé reste, comme pour les années précédentes, celui des écarts aux exigences réglementaires relatives à la documentation associée au transport.



## Analyse des principaux types d'évènements survenus en 2014 et 2015 par rapport aux années précédentes

En 2014 et en 2015, les trois types d'évènements les plus fréquents restent identiques à ceux relevés au cours des années précédentes : il s'agit des types « évènement de nature documentaire », « évènement radiologique » et « endommagement de colis ».

Les absences et erreurs dans les documents de transport ou l'étiquetage des colis constituent, en 2014 et 2015, le premier motif de déclaration d'évènements (un évènement sur quatre).

4. Celles-ci ne recourent pas nécessairement les critères de déclaration définis dans le guide de déclaration des évènements de l'ASN.

Comme pour ses précédentes analyses de même nature, les évènements « transport » déclarés à l'ASN sont classés par l'IRSN dans 10 catégories-types<sup>4</sup> présentant les enjeux de sûreté les plus importants, et regroupant près de 90 % de l'ensemble des évènements déclarés. La répartition et l'évolution du nombre annuel d'évènements déclarés depuis 2012 dans ces dix catégories sont présentées en figure 2.8.

Les quatre catégories avec le nombre d'évènements le plus important et/ou dont le nombre d'évènements est en augmentation sensible ces deux dernières années, sont analysées dans la suite de ce chapitre. Par ailleurs, trois autres catégories qui ont fait l'objet d'évènements marquants en 2014 ou en 2015 sont analysées au chapitre 3 du présent rapport.

Les trois types d'évènements les plus fréquents sont, en 2014 et en 2015, identiques à ceux relevés au cours des années précédentes : « évènement de nature documentaire », « évènement radiologique »

et « endommagement de colis ». Ils représentent environ 55 % du nombre total d'évènements déclarés en 2014 et 2015, cette proportion étant similaire à celle observée en 2012 et 2013. Par ailleurs, les évènements liés à des défauts d'arrimage des colis sont en augmentation en 2014 et 2015.

### Évènements de nature documentaire

Les absences et erreurs dans les documents de transport ou l'étiquetage des colis (tels que des oublis ou des erreurs dans la transcription de données sur les documents de transport ou des écarts portant sur l'étiquetage des colis, par exemple des étiquettes manquantes ou des étiquettes erronées ou contenant des données incomplètes) constituent, en 2014 et 2015, le premier motif de déclaration d'évènements (un évènement sur quatre).

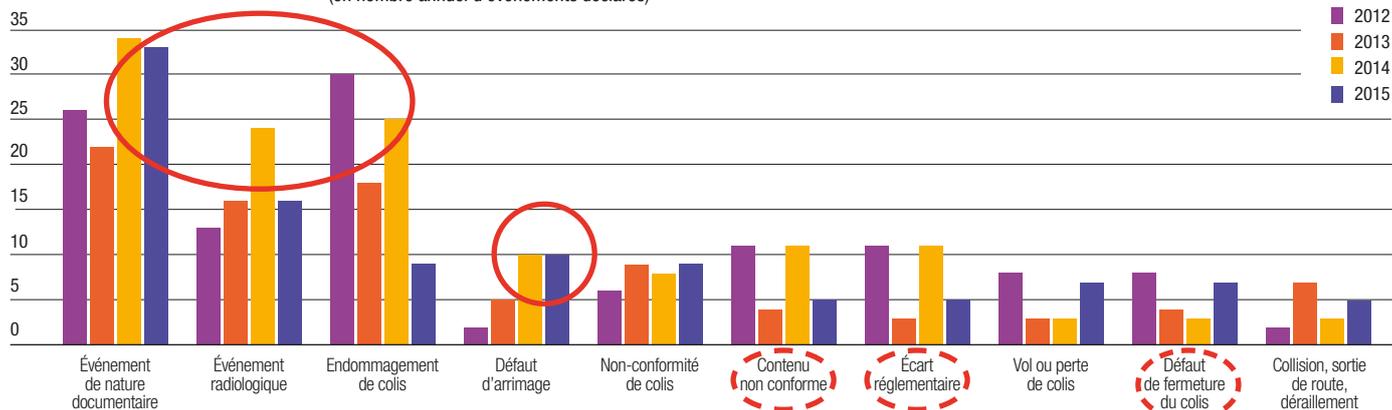
En 2014 et en 2015, l'augmentation du nombre d'évènements de nature documentaire (figure 2.11) est principalement attribuable aux colis de types industriels chargés de matériels et d'outillages contaminés provenant des réacteurs

électronucléaires (et implique les exploitants des différents centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) d'EDF ainsi que ceux des installations dédiées à l'entretien et à l'entreposage de ces équipements (base chaude opérationnelle du Tricastin – BCOT) ou spécialisées dans le traitement et le conditionnement des déchets faiblement radioactifs (Socodei).

Les comptes rendus d'évènements transmis à l'ASN indiquent que la plupart de ces évènements proviennent d'erreurs individuelles, pouvant notamment s'expliquer par :

- › le nombre important d'informations et de données à reporter dans les documents d'expédition et dans les documents d'exploitation utilisés par les opérateurs en charge de la préparation des colis ;
- › la diversité des unités de mesure à reporter (multiples du Becquerel pour les données relatives à l'activité du contenu et conversion entre des mesures de débit de dose exprimées en  $\mu\text{Sv/h}$  et en  $\text{mSv/h}$  afin de vérifier le respect des critères radiologiques réglementaires et de calculer l'indice de transport des colis).

Figure 2.8  
Typologie des évènements déclarés par catégorie entre 2012 et 2015  
(en nombre annuel d'évènements déclarés)



## FOCUS

### Documents réglementaires, étiquetage et placardage des colis de substances radioactives et des véhicules de transport de ces colis

Les documents et éléments de signalisation accompagnant un colis chargé de substances radioactives sont :

- le document de transport attestant la conformité du conditionnement des substances radioactives aux règles applicables, qui présente les principales informations relatives à l'envoi et au(x) colis transporté(s) ;
- l'attestation de formation du conducteur et les consignes de sécurité ;
- les éléments de marquage de chaque colis (indication de l'expéditeur et du destinataire, masse du colis, type et cote du colis) ainsi que les étiquettes apposées sur chaque colis : étiquette 7A, 7B ou 7C (aussi nommées respectivement I-blanc, II-jaune et III-jaune) identifiant le niveau d'irradiation et étiquette 7E

signalant le risque de criticité (figure 2.9) en cas de transport de matière fissile ;

- la signalisation de chaque véhicule transportant des colis autres que des colis exceptés par un panneau orange identifiant la nature du danger et le numéro ONU et une étiquette 7D (figure 2.10).



Figure 2.9 Étiquettes 7A, 7B, 7C et 7E



Figure 2.10 Étiquette 7D et plaque orange

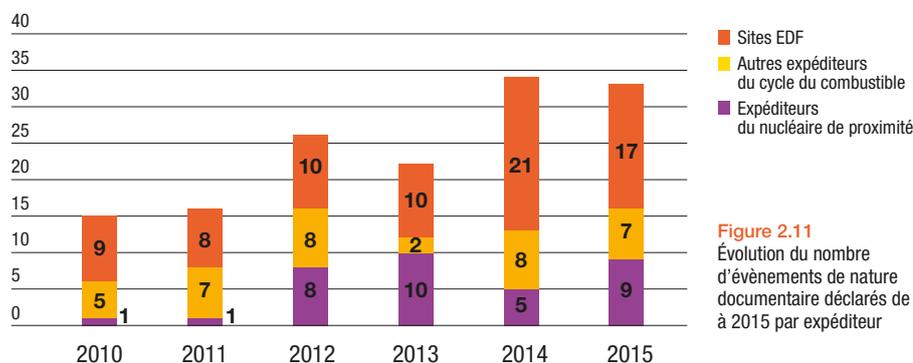


Figure 2.11 Évolution du nombre d'événements de nature documentaire déclarés de 2010 à 2015 par expéditeur

### Quels types d'événements pour les 10 catégories retenues par l'IRSN ?

Les types d'événements correspondant aux catégories retenues par l'IRSN sont :

- pour les événements de nature documentaire : les écarts, oublis et erreurs concernant les informations devant figurer dans les documents de transport ou l'étiquetage des colis
- pour les événements radiologiques : les dépassements de limites fixées par la réglementation concernant le débit d'équivalent de dose autour du colis ou du moyen de transport et le niveau de contamination à la surface du colis ou du moyen de transport
- pour les endommagements de colis : les dommages résultant de chocs en cours de transport ou lors d'opérations de manutention
- pour les défauts d'arrimage : les écarts par rapport au plan d'arrimage du colis
- pour les non-conformités de colis : les écarts relatifs à la conception du colis (vis non conformes, composant de dimensions différentes de celles spécifiées dans le dossier de sûreté...) ou son utilisation dans des conditions non prévues par la notice d'utilisation (absence d'un joint d'étanchéité, erreur sur la nature du gaz d'inertage...)
- pour les contenus non conformes : la présence, dans l'emballage, de matières ou d'objets non autorisés au chargement, tels que des matières organiques (plastique, tissu, joint d'étanchéité) pouvant être tombés dans la cavité de l'emballage lors du chargement, des équipements de type sangle ou housse qui n'ont pas été retirés ou des matières liquides (eau, huile) présentes en raison d'un séchage incomplet ou de la défaillance d'un engin utilisé au-dessus de l'emballage (fuite de lubrifiant)
- pour les écarts réglementaires : les écarts résultant d'une mauvaise application de la réglementation concernant le choix du type de colis (classement erroné d'un colis, expédition de substances radioactives dans des colis conventionnels) ou le non-respect d'une exigence réglementaire (oubli d'une mesure radiologique, absence de certification du chauffeur, absence d'extincteur à bord du véhicule, ...)
- pour les vols ou pertes de colis : les pertes, définitives ou temporaires, de colis à la suite d'un vol, d'une erreur de livraison ou lors d'un transit aéroportuaire
- pour les défauts de fermeture de colis : les écarts relatifs à la fermeture d'un fût de déchet (rupture de cerclage...), d'un conteneur de type ISO (porte mal verrouillée), de la coque de protection d'un cylindre d'UF<sub>6</sub> (broche mal engagée) ainsi qu'un mauvais serrage des vis du couvercle ou des capots amortisseurs d'un colis (mauvais couple de serrage ou vis qui peuvent être desserrées à la main) ou un défaut de verrouillage d'un appareil de gammagraphie
- pour les collisions, sorties de route et déraillements : les incidents et accidents survenus sur la route (collisions, accrochages, sorties de route) et lors du transport ferroviaire (sortie de voie, déraillement, tamponnement).



En 2014 et en 2015, l'augmentation du nombre d'événements de nature documentaire est en particulier attribuable aux colis de types industriels chargés de matériels et d'outillages contaminés provenant des réacteurs électronucléaires.

Qu'est-ce que l'indice de transport d'un colis ?

L'indice de transport (IT) d'un colis est un nombre correspondant à 100 fois le débit d'équivalent de dose le plus élevé, exprimé en millisievert par heure (mSv/h), mesuré à une distance de 1 mètre des surfaces externes du colis.

Il est utilisé pour déterminer quelle étiquette doit être apposée sur le colis (étiquette 7A, 7B ou 7C) afin d'informer les travailleurs et les équipes d'intervention en cas de crise du degré de « dangerosité » radiologique du colis. C'est l'expéditeur qui calcule l'IT de chaque colis et appose sur ce dernier l'étiquette correspondante.

L'indice de transport est également utilisé pour déterminer le nombre de colis pouvant être chargés dans un même moyen de transport, la somme des IT de tous les colis transportés ne pouvant excéder 50 (à l'exception des avions-cargos et des bateaux, pour lesquels la somme des IT peut atteindre 200, voire être illimitée sur un bateau transportant des grands conteneurs).



Figure 2.12  
Fûts contenant du minerai  
d'uranium dans une usine  
de traitement du minerai au Niger



Les dépassements des limites fixées par la réglementation, d'une part de débit d'équivalent de dose au contact et au voisinage du colis, d'autre part de contamination à la surface externe du colis ou du moyen de transport, restent le deuxième motif de déclaration d'événements.

#### Événement de dépassement de la limite réglementaire de contamination d'un colis

En 2014 et 2015, le niveau de contamination le plus élevé relevé a été de 910 Bq/cm<sup>2</sup> (radioéléments émetteurs de rayonnement bêta). Celui-ci a été mesuré après le transport par voie ferroviaire d'un colis de type B chargé d'assemblages combustibles irradiés, sur la lèchefrite située dans la partie basse de la canopée (protection métallique utilisée afin de protéger le colis des intempéries et de prévenir tout contact avec sa surface – figure 2.14), dont la température peut atteindre 85 °C.

Ce dépassement de la limite réglementaire, fixée à 4 Bq/cm<sup>2</sup>, a cependant été sans conséquence radiologique pour le personnel impliqué ou pour le public compte tenu de sa localisation dans une zone non accessible pour les travailleurs ou le public.



Figure 2.14  
Canopée (protection métallique peinte en blanc) utilisée pour le transport ferroviaire d'emballages de combustibles usés ou de déchets de haute activité

Les comptes rendus indiquent rarement les causes « plus profondes », de nature organisationnelle, de ces événements et les actions correctives mises en œuvre consistent généralement en des actions de « sensibilisation » du personnel impliqué.

Pour l'IRSN, l'augmentation du nombre d'événements déclarés dans le cadre des expéditions de colis de types industriels chargés de matériels et d'outillages contaminés n'est pas le signe d'une dégradation de la qualité des actions de nature documentaire de la part des exploitants impliqués.

En effet, ces derniers étant, dans la plupart des cas, à la fois expéditeurs et destinataires des transports concernés (les outillages circulant entre les CNPE) et, par là même, à l'origine de la détection des écarts documentaires, cette augmentation traduit une bonne connaissance, de la part du personnel impliqué, des exigences réglementaires et un bon fonctionnement du processus de remontée d'informations vers le site expéditeur et de déclaration d'événement auprès de l'ASN. À cet égard, le fait que les événements de

nature documentaires restent, comme pour les années passées, en très grande majorité déclarés par des entreprises du cycle du combustible nucléaire suggère, *a contrario*, une sous-déclaration de la part des acteurs du nucléaire dit « de proximité ».

#### Événements de nature radiologique

Les dépassements des limites fixées par la réglementation, d'une part de débit d'équivalent de dose (DeD) au contact et au voisinage du colis, d'autre part de contamination à la surface externe du colis ou du moyen de transport, restent, en nombre, le deuxième motif de déclaration d'événements.

En particulier, une augmentation du nombre d'événements de contamination peut être relevée en 2014 et 2015, alors que leur nombre était relativement stable depuis une dizaine d'années.

Dans le détail, il apparaît que cette hausse est principalement due à des contaminations de fûts chargés de minerai d'uranium naturel en provenance des mines exploitées par le groupe Areva (figure 2.12) : 12 événements de ce type ont été

#### Quels sont les critères radiologiques réglementaires ?

La réglementation des transports de substances radioactives fixe des limites concernant le débit d'équivalent de dose (DeD) autour de chaque colis et autour du moyen de transport et la contamination non fixée (c'est-à-dire pouvant être enlevée d'une surface dans les conditions de transport de routine, par exemple sous l'effet des vibrations ou des intempéries) à la surface des colis :

- le DeD ne doit pas dépasser 5 µSv/h en tout point de la surface externe d'un colis excepté et 2 mSv/h au contact des autres types de colis, voire 10 mSv/h en cas de transport sous « utilisation exclusive »\*
- dans tous les cas, le DeD ne doit pas dépasser 2 mSv/h en tout point de la surface accessible du moyen de transport et 0,1 mSv/h à 2 mètres du moyen de transport
- la contamination à la surface des colis, ne doit pas dépasser 4 Bq/cm<sup>2</sup> pour les émetteurs bêta, gamma et alpha de faible toxicité\*\* et 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> pour les autres émetteurs alpha (valeurs moyennes applicables pour une surface de 300 cm<sup>2</sup> à la surface du colis)
- ces critères radiologiques doivent être contrôlés avant chaque expédition de colis de substances radioactives. Ces contrôles sont également réalisés par le destinataire avant le déchargement des colis.

\* L'utilisation exclusive signifie l'utilisation par un seul expéditeur d'un moyen de transport, pour laquelle toutes les opérations initiales, intermédiaires et finales de chargement et de déchargement se font conformément aux instructions de l'expéditeur ou du destinataire, notamment pour ce qui concerne l'interdiction de l'accès du public aux colis.

\*\* Les émetteurs alpha de faible toxicité sont l'uranium naturel, l'uranium appauvri, le thorium naturel, l'uranium 235 ou l'uranium 238, le thorium 232, le thorium 228 et le thorium 230 lorsqu'ils sont contenus dans des minerais ou des concentrés physiques et chimiques, ainsi que les émetteurs alpha dont la période est inférieure à dix jours.

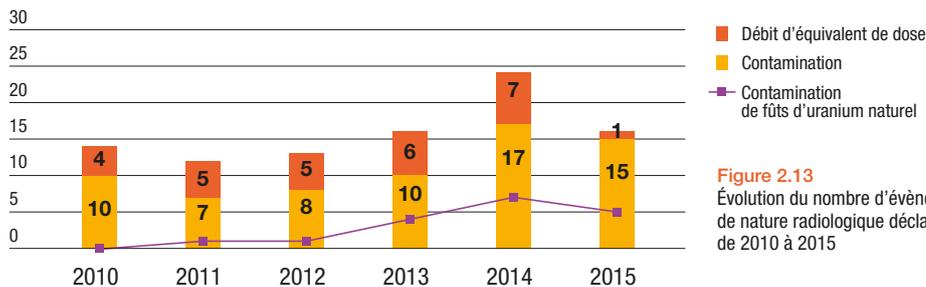


Figure 2.13  
Évolution du nombre d'événements de nature radiologique déclarés de 2010 à 2015

déclarés en 2014 et 2015, contre 5 en 2012 et 2013 (figure 2.13). Compte tenu des très faibles niveaux de contamination mesurés (de l'ordre de quelques Becquerel par centimètre carré) et des très petites quantités de minerai d'uranium découvertes sur ces fûts (généralement à l'état de trace) ou sur le moyen de transport, ces événements ne sont pas de nature à induire des conséquences, radiologiques ou chimiques<sup>5</sup>, pour le personnel impliqué dans les opérations de transport et de déchargement de ces colis. Ces événements correspondent à un défaut d'étanchéité du fût ou à un défaut de propreté radiologique dû aux opérations de remplissage du fût. En outre, ces fûts étant transportés dans des conteneurs de type ISO 20 pieds, ces événements de contamination n'ont pas eu d'impact radiologique ou sanitaire sur le public et sur l'environnement.

Toutefois, l'IRSN considère que l'augmentation du nombre d'événements déclarés ces deux dernières années pourrait être l'occasion de renforcer le contrôle de l'état des fûts utilisés pour ces transports ainsi que

**d'améliorer leur « propreté » lors des opérations de chargement.**

Le nombre d'événements de contamination (figure 2.15) affectant des transports de colis de type B chargés d'assemblages combustibles irradiés (figure 2.16), ou des wagons vides précédemment utilisés pour le transport de ces colis, reste faible en 2014 et 2015 (respectivement 1 et 4 événements) comparativement aux chiffres observés entre 1999 et 2002, qui étaient liés à des procédures défectueuses concernant l'immersion de ces colis, lors des opérations de chargement, dans les piscines de désactivation des combustibles irradiés des CNPE d'EDF.

Comme les années précédentes, un nombre limité de dépassements des critères réglementaires de débit d'équivalent de dose a été recensé en 2014 et 2015. La majorité de ces événements (5 sur les 8 déclarés) a concerné des colis exceptés ; le débit d'équivalent de dose relevé au contact de ces colis, d'au maximum 22 µSv/h pour une limite réglementaire de 5 µSv/h, n'est pas de nature à induire de conséquences radiologiques pour les travailleurs et le public.

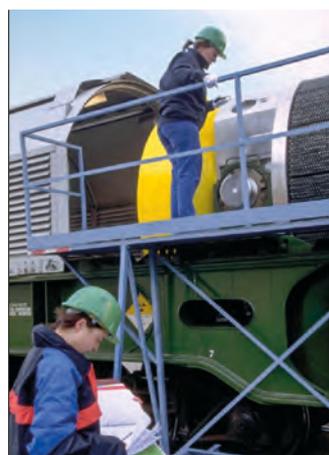
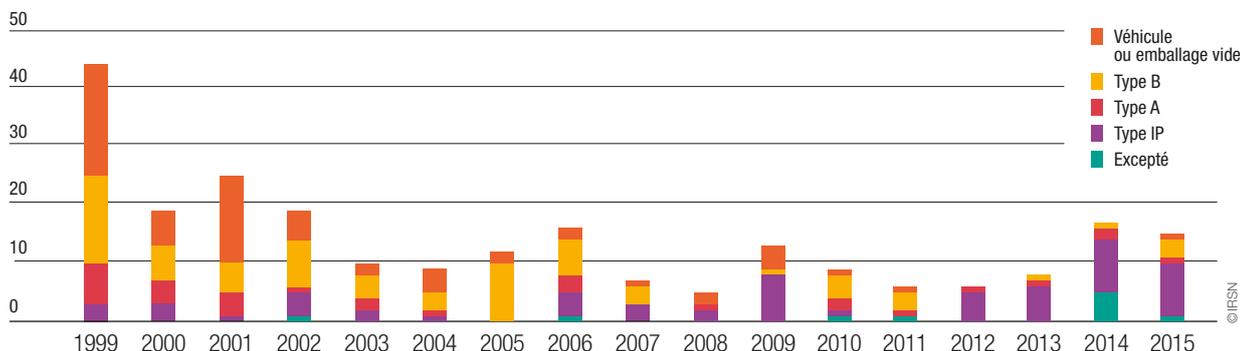


Figure 2.16  
Contrôle des emballages de transport de combustibles irradiés

Comme les années précédentes, les dépassements des critères réglementaires de débit d'équivalent de dose restent, en 2014 et 2015, limités en nombre et en termes de conséquences radiologiques.

5. La toxicité de l'uranium est liée à ses caractéristiques radiologiques et chimiques. La toxicité chimique est prépondérante pour de l'uranium dont l'enrichissement en U-235 est inférieur à 7 %. La toxicité radiologique est liée à la composition isotopique du composé et à son activité spécifique ; le risque radiologique est d'autant plus élevé que l'enrichissement de l'U-235 du composé est important.

Figure 2.15  
Évolution du nombre d'événements de contamination déclarés de 1999 à 2015



© IRSN

### Évènement de dépassement du critère réglementaire de débit d'équivalent de dose au contact d'un colis

Le 10 décembre 2014, le CEA de Cadarache a expédié à destination du CEA de Marcoule une citerne contenant des effluents liquides radioactifs issus de la vidange des piscines de l'INB 56 (parc d'entreposage des déchets radioactifs solides). Le 16 décembre 2014, le CEA de Marcoule a retourné au site expéditeur, en tant que colis de type industriel, la citerne dans laquelle subsistait un reliquat d'effluents. Lors des contrôles radiologiques effectués à la réception du colis, le CEA de Cadarache a mesuré, en partie basse de la citerne, un débit d'équivalent de dose au contact du colis de 2,6 mSv/h, ce qui est nettement supérieur à la valeur mesurée avant expédition (0,2 mSv/h). L'expéditeur a indiqué que cet écart pouvait résulter

soit d'un phénomène de ségrégation des matières en suspension dans les effluents qui a conduit à la formation d'un dépôt en cours de transport et ainsi à une concentration de matières radioactives en partie inférieure du colis, soit d'une différence de localisation des points de contrôle entre les installations expéditrice et destinataire. Un évènement comparable, affectant le même type de citerne, a été déclaré le 4 mars 2015 lors d'un transport entre le réacteur de recherche Osiris situé au CEA de Saclay et le CEA de Marcoule. Le débit d'équivalent de dose mesuré après transport par le destinataire (1,2 mSv/h) était significativement supérieur à la valeur mesurée avant expédition.

dégradation de la protection radiologique des emballages.

À ce titre, l'ensemble de ces évènements a été classé en dehors de l'échelle INES ou au niveau 0. De manière analogue à ce qui avait été constaté les années précédentes, une très grande majorité de ces évènements a concerné des colis exceptés et des colis de type A du secteur médical (figure 2.17), qui ont été endommagés lors de leur manutention en zone aéroportuaire.

Néanmoins, il a été constaté en 2015 une baisse assez nette du nombre d'endommagement de colis lors de ces phases de transport. Ceci pourrait être lié à la mise en place, et au renouvellement, des actions de sensibilisation réalisées par la société CIS Bio International, qui est l'expéditeur des colis les plus fréquemment impliqués dans ce type d'évènement, auprès des compagnies aériennes et du personnel impliqué dans la manutention.

**Aucun des évènements liés à des endommagements de colis n'a conduit à une perte de confinement des substances radioactives transportées ou à une dégradation de la protection radiologique des emballages.**



Pour les autres types de colis, pour lesquels la limite réglementaire de débit d'équivalent de dose est de 2 mSv/h au contact, le dépassement le plus important a été de 2,6 mSv/h pour un colis de type industriel.

### Évènements liés à des endommagements de colis

L'endommagement de colis, principalement lié à des chocs subis lors d'opérations de manutention, constitue, en 2014 et 2015, le troisième motif de déclaration d'évènements.

Les dommages relevés restent limités. Aucun des évènements déclarés n'a conduit à une perte de confinement des substances radioactives transportées ou à une

### Évènements liés à des défauts d'arrimage

Les évènements liés à des défauts d'arrimage des colis sont en augmentation en 2014 et 2015 (figure 2.18). À titre d'exemple, ces évènements peuvent concerner l'utilisation de sangles inadaptées ou en nombre inapproprié, un serrage insuffisant de ces sangles, le mauvais positionnement d'un colis sur son châssis de transport, voire un transport de colis sans aucun dispositif d'arrimage.

### Évènements d'endommagement d'emballages destinés au transport de matières uranifères

En 2014, deux emballages utilisés dans le cadre du cycle du combustible nucléaire ont été endommagés lors de chutes survenues au cours d'opérations de manutention lors de leur transport sur la voie publique.

Il s'agissait, lors de l'évènement survenu le 22 janvier 2014, d'un « cylindre » d'UF<sub>6</sub>, préalablement vidé. Ce « cylindre », qui venait d'être chargé sur la remorque du véhicule de transport, a chuté d'une hauteur d'environ 2,50 m après avoir été heurté par la pince de manutention lors du chargement d'un autre cylindre. Cette chute n'a pas occasionné de dommage au colis et n'a pas entraîné de conséquence concernant la sûreté du colis.

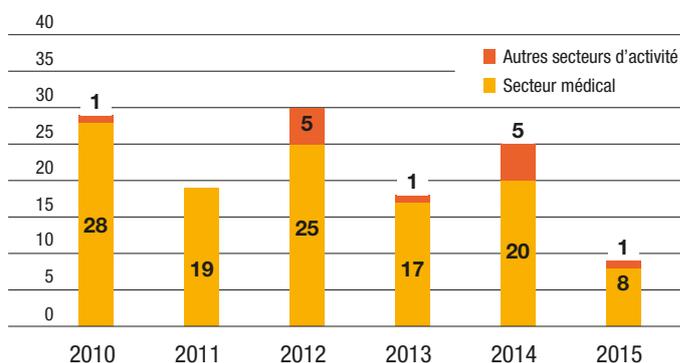
Le second évènement est survenu le 30 juin 2014 devant le bâtiment combustible de la tranche n° 2 du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux, lors du déchargement d'un camion transportant plusieurs colis contenant chacun un assemblage de combustible neuf.

Les colis, disposés sur deux niveaux dans le véhicule, sont déchargés par paire à l'aide d'une grue de manutention munie d'élingues et disposés sur un lorry pour être acheminés dans le bâtiment du combustible. Après le déchargement de la deuxième paire de colis et lors de la remontée de la grue pour le déchargement des deux derniers colis, l'une des élingues a accroché une partie saillante du colis disposé en partie supérieure et a provoqué sa chute, d'une hauteur d'environ 1 m.

Le colis n'a été que légèrement endommagé. Les contrôles radiologiques n'ont révélé aucun écart aux exigences réglementaires. Aucun dommage n'a été constaté sur l'assemblage combustible contenu dans l'emballage. À cet égard, ce type de colis, destiné au transport de matières fissiles, est conçu pour résister à une chute d'une hauteur de 9 m sur une cible indéformable.

L'analyse effectuée par l'exploitant a identifié des défaillances techniques concernant notamment le matériel de levage utilisé et la position des élingues, ainsi qu'un manque d'attention des opérateurs en raison du caractère routinier des opérations.

Figure 2.17  
Évolution du nombre d'évènements en rapport avec un endommagement de colis déclarés de 2010 à 2015





La moitié des 20 événements de ce type déclarés en 2014 et 2015 ont concerné des conteneurs de type « ISO » (colis de type industriel) expédiés par des acteurs du cycle du combustible. Lors de ces événements, le chargement, constitué d'outillages contaminés ou de déchets de faible activité, était mal arrimé (figure 2.19).

Dans certains cas, ces non-conformités ont conduit à un **déplacement du contenu radioactif dans le conteneur**, qui aurait pu endommager le contenu ou le conteneur, en cours de transport. Plusieurs des événements déclarés ont également entraîné une variation du débit d'équivalent de dose mesuré au contact du colis et des parois du véhicule. Un défaut d'arrimage de colis est également susceptible de conduire à une chute du colis sur la voie publique, telle que celle survenue le 19 novembre 2012 (événement classé au niveau 2 de l'échelle INES et présenté dans le [rapport de l'IRSN sur les événements survenus en 2012 et 2013](#)).

Parmi les autres types de colis concernés par des défauts d'arrimage, les transports de gammagraphes ont fait l'objet de 4 événements ces deux dernières années. Ce type d'écart a notamment été constaté lors de l'événement du 2 mars 2015 décrit au chapitre 3 du présent rapport.

Les comptes rendus des événements mettent en évidence des défaillances organisationnelles et humaines à l'origine de la plupart des écarts. Les défaillances techniques ou les défauts de dimensionnement des dispositifs d'arrimage ne constituent pas des causes récurrentes.

En particulier, ces écarts peuvent avoir pour origine un défaut de transmission d'information sur l'avancée des opérations d'arrimage lors de la relève entre deux équipes ou une absence de contrôle de l'arrimage avant expédition. Dans certains cas, un défaut de formation des intervenants ou un manque de temps a été identifié. Ceci est notamment avéré dans le cas d'opérations revêtant un caractère routinier ou d'activités n'étant pas exclusivement dédiées au secteur du nucléaire (société de livraison transportant des colis de différentes natures, véhicules de transit en aéroport...).

**À cet égard, le sujet des défauts d'arrimage de colis fait l'objet de groupes de travail (GT), aux niveaux national et international, auxquels l'IRSN participe.**

**Le GT international a travaillé sur la définition des valeurs d'accélération devant être prises en compte pour dimensionner les organes d'arrimage du colis.**

**Quant au GT français, piloté par l'ASN, l'un de ses principaux objectifs est d'identifier l'origine des écarts les plus fréquemment rencontrés et de proposer des actions visant à en réduire l'occurrence.**

**Les travaux ont notamment porté sur la rédaction d'un guide à destination des personnels concernés, regroupant les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour fiabiliser l'arrimage des colis (formation approfondie, double contrôle, manuel pour les utilisateurs, etc.).**



© EDF/DR

Figure 2.19  
Illustration d'un arrimage inadéquat au chargement



**Les événements liés à des défauts d'arrimage des colis sont en augmentation en 2014 et 2015.**

#### Événement relatif à un défaut d'arrimage d'un contenu radioactif dans un conteneur

Le 11 mai 2015, l'exploitant du CNPE de Cruas a expédié, dans un conteneur de type industriel, des sacs de linge contaminé au CNPE de Fessenheim pour lavage. En raison d'un mauvais arrimage, un sac contenant des chaussures contaminées s'est déplacé à l'intérieur du conteneur en cours de transport. Ceci a occasionné une multiplication par 6 du débit d'équivalent de dose mesuré au contact des parois du conteneur entre son expédition (0,18 mSv/h) et sa réception (1,07 mSv/h). La limite réglementaire de débit d'équivalent de dose au contact du colis (2 mSv/h) n'a pas été dépassée. Cependant, l'étiquetage radiologique initial du colis ne correspondait plus au débit d'équivalent de dose mesuré à la réception du colis.

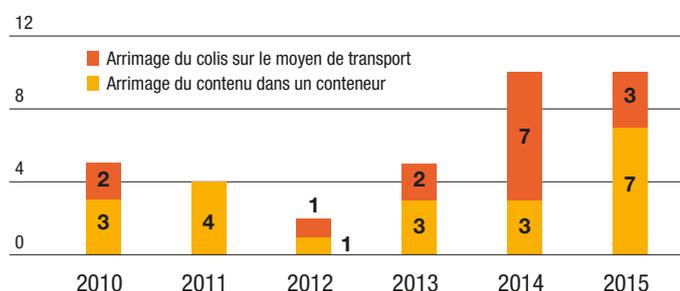


Figure 2.18  
Évolution du nombre de défauts d'arrimage déclarés de 2010 à 2015

# 3



## Événements marquants

Événement du 2 mars 2015 concernant le non-respect d'exigences réglementaires lors du transport d'un gammagraphe

Événement du 29 septembre 2015 concernant un défaut de serrage de vis des capots amortisseurs d'emballages utilisés pour le transport d'éléments combustibles irradiés

Événement du 8 avril 2015 concernant la non-conformité du contenu transporté

Ce chapitre présente plusieurs événements marquants survenus en 2014 et 2015 qui illustrent trois des catégories d'événements présentées dans l'analyse globale des événements du chapitre 2 ci-avant.

## Événement du 2 mars 2015 concernant le non-respect d'exigences réglementaires lors du transport d'un gammagraphe



Cet événement est lié à plusieurs non-respects d'exigences réglementaires concernant le transport d'un appareil de gammagraphie, portant notamment sur le verrouillage de la source et l'arrimage du colis. Les événements concernant des gammagraphes sont, par ailleurs, en nombre croissant en 2014 et 2015.

### Contexte

La radiographie industrielle, ou gammagraphie, est une méthode de contrôle non destructif par émission de rayons gamma ou X. Elle met en œuvre des appareils mobiles (gammagraphes) comportant une source radioactive scellée de haute activité. Ces sources sont susceptibles d'induire des expositions externes aux rayonnements ionisants (irradiation) importantes des travailleurs ou du public. Près de 700 appareils de ce type sont utilisés en France ; la détention et l'utilisation de ces appareils sont soumises à une autorisation de l'ASN, en application de l'article L.13334 du code de la santé publique.

En outre, pour le transport de ces appareils sur la voie publique, le colis, constitué du gammagraphe placé dans sa coque de protection, doit être agréé par l'ASN. À cet égard, selon le **certificat d'agrément du modèle de colis**, ce transport n'est autorisé que lorsque l'obturateur de l'appareil est inséré et que sa position est verrouillée (voyant « vert » allumé) et uniquement si l'appareil est placé dans sa coque de protection, celle-ci devant par ailleurs être arrimée sur le moyen de transport.

### Description de l'évènement

Le 2 mars 2015, la société ECW (Engineering Control Welding), spécialisée dans la radiographie industrielle, a rapatrié l'un de ses gammagraphes depuis un site

industriel vers son agence locale de Courcelles-lès-Lens (Pas-de-Calais). Ce gammagraphe, de type « GAM 80 », comporte une source scellée d'iridium 192 de très haute activité (de l'ordre de 1,8 TBq). Le colis, constitué du gammagraphe placé dans son emballage de transport (**figures 3.1 et 3.2**), est agréé par l'ASN en tant que colis de type B.

Le 16 mars 2015, la société ECW a déclaré à l'ASN un événement significatif car le transport du gammagraphe a été effectué alors que l'appareil n'était pas en position « fermée verrouillée » (voyant « rouge » allumé). Ceci résultait de difficultés de manœuvre de l'obturateur permettant la fermeture de la cavité contenant la source radioactive. Ainsi, du fait de l'absence de verrouillage de l'obturateur, il existait un risque de sortie de la source hors de son blindage en cas de choc accidentel lors du transport. En outre, les opérateurs en charge des opérations de radiographie et de transport du gammagraphe n'ont pas réussi à désolidariser les accessoires de chantier reliés à l'appareil (télécommande et collimateur relié au nez du projecteur – **figure 3.3**).



Figure 3.1  
Gammagraphe GAM-80



Selon le certificat d'agrément du modèle de colis, le transport d'un appareil de gammagraphie sur la voie publique n'est autorisé que lorsque l'obturateur de l'appareil est inséré et que sa position est verrouillée et uniquement si l'appareil lui-même est placé dans sa coque de protection, celle-ci devant par ailleurs être arrimée sur le moyen de transport.

### Quelles sont les exigences du certificat d'agrément d'un modèle de colis utilisé pour le transport d'un gammagraphe ?

Le transport sur la voie publique d'un modèle de colis est réalisé sous couvert d'un certificat d'agrément, émis par l'ASN, qui atteste de la conformité du modèle aux exigences réglementaires qui lui sont applicables. Il comporte une définition des substances radioactives pouvant être transportées dans l'emballage ainsi que les exigences portant sur leur conditionnement et, le cas échéant, sur les conditions de transport à respecter.

Les certificats d'agrément des modèles de colis utilisés pour le transport de gammagraphes comportent ainsi des exigences relatives au verrouillage de l'appareil. Parmi ces exigences, figurent notamment une vérification du bon fonctionnement des systèmes de fermeture et de verrouillage du gammagraphe, une vérification que le voyant de l'appareil est bien « vert » et que la clé de verrouillage de sécurité est enlevée avant le transport.



© CEGELEC/OR

Figure 3.2  
Emballage de transport de gammagraphe de type CEGEBOX



**Les opérateurs auraient dû, sans délai, informer le fournisseur de l'appareil en vue d'obtenir une assistance technique et, dans l'attente de cette assistance, mettre en place une zone d'interdiction d'accès autour de l'appareil défectueux.**

Ils ont alors pris la décision de le transporter sans le placer dans sa coque de transport et en le recouvrant d'un matelas en plomb.

Avant le transport, les opérateurs ont procédé à une vérification du bon positionnement de la source radioactive dans le gammagraphe en contrôlant, à l'aide d'un radiamètre, le débit de dose autour de l'appareil. Toutefois, l'absence de conditionnement de l'appareil dans sa coque de protection et son absence d'arrimage dans le véhicule accroissaient sa vulnérabilité aux chocs. Ceci aurait pu conduire à une irradiation du personnel et, le cas échéant, des équipes d'intervention mobilisées

en cas d'accident de la route, voire du public se trouvant à proximité.

**Compte tenu de ces risques, cet évènement a été classé par l'ASN au niveau 2 de l'échelle INES.**

### Analyse des causes de l'évènement et actions correctives

À la suite de cet évènement, l'ASN a mené deux inspections dans les locaux de la société ECW, afin notamment de contrôler les pratiques mises en œuvre par cette société et d'analyser les actions engagées.

La société prestataire a indiqué que l'origine de l'évènement était

un dysfonctionnement technique de l'obturateur du gammagraphe qui n'a pas permis son verrouillage.

Les **dispositions à mettre en œuvre en cas d'anomalie** ou de dysfonctionnement d'un appareil de gammagraphie, qui sont stipulées dans l'autorisation délivrée par l'ASN, n'ont pas été respectées par les deux opérateurs. En particulier, ceux-ci n'ont informé ni leur hiérarchie, ni le fournisseur de l'appareil du dysfonctionnement observé. Ils ont pris seuls l'initiative de le manipuler et de le transporter dans un état « dégradé ».

À cet égard, les opérateurs auraient dû, sans délai, informer le fournisseur en vue d'obtenir

## FOCUS

### Principe de fonctionnement d'un appareil de gammagraphie et consignes d'utilisation

Un appareil de gammagraphie, aussi appelé gammagraphe, est un appareil mobile utilisé pour réaliser des contrôles non destructifs par radiographie dans des secteurs industriels variés tels que l'aéronautique, l'automobile, la métallurgie\*...

Il comporte une source radioactive scellée (généralement d'iridium 192, de sélénium 75 ou de cobalt 60) d'une haute activité, qui est insérée dans un porte-source. Elle est disposée, lorsqu'elle n'est pas utilisée, dans une cavité, appelée projecteur de source, elle-même entourée d'une protection radiologique en uranium appauvri ou en plomb atténuant l'intensité du rayonnement ionisant au contact du gammagraphe. Pour la réalisation des radiographies, la source est déplacée, éventuellement *via* une gaine d'éjection, de sa cavité vers un embout appelé « collimateur ». Cette opération est réalisée à l'aide d'une télécommande, ou d'une manivelle reliée à la partie arrière du gammagraphe, afin que les opérateurs restent à distance de la source lorsqu'elle se trouve en dehors de sa protection radiologique. Après chaque contrôle, la source est replacée dans sa cavité. La position du porte-source est signalée à l'aide d'un témoin sur l'appareil. En outre, un contrôle systématique de l'appareil et de la gaine d'éjection doit être effectué à l'aide d'un radiamètre afin d'attester de la position de la source. Préalablement à tout déplacement, et *a fortiori* avant tout

transport sur la voie publique, la cavité du gammagraphe doit être obturée par un « doigt obturateur », dont la position doit être verrouillée à l'aide d'une clé de sécurité. L'état du verrouillage est attesté par un voyant (« rouge » lorsque le doigt obturateur n'est pas complètement inséré dans la cavité, « jaune » lorsque celui-ci est inséré, mais que sa position n'est pas verrouillée et « vert » lorsque celui-ci est inséré et que sa position est correctement verrouillée). Le transport du gammagraphe sur la voie publique, qui doit être effectué en le plaçant dans sa coque de protection, n'est autorisé que lorsque le voyant est « vert ». La clé de sécurité doit être désengagée et transportée indépendamment de l'appareil. En raison de l'activité importante de la source, l'utilisation et le transport d'un gammagraphe sur la voie publique nécessitent une autorisation délivrée par l'ASN (autorisation d'utilisation de l'appareil, certificat d'agrément de la source scellée et certificat d'agrément du colis constitué de l'appareil dans sa coque de transport). En outre, la réglementation spécifique que les personnels qui utilisent un gammagraphe disposent d'une habilitation appelée CAMARI\*\* (certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle). De plus, le transport d'un gammagraphe sur la voie publique ne peut être effectué que par un chauffeur habilité au transport de matières dangereuses appartenant à la classe 7.

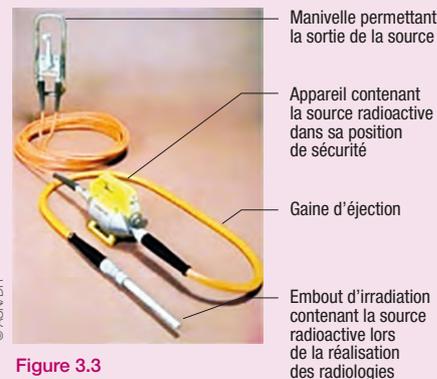


Figure 3.3  
Principaux composants d'un gammagraphe

\* Les contrôles par radiographie consistent à disposer une pièce à caractériser (tôle ou canalisation dont on cherche à mesurer l'épaisseur, soudure dans laquelle on cherche d'éventuels défauts, etc.) entre la source radioactive du gammagraphe et un détecteur. Sur la base de l'atténuation des rayonnements ionisants traversant la pièce, il est possible de déterminer très précisément ses caractéristiques (épaisseur, localisation et taille de défauts de soudure, niveau de corrosion, etc.).

\*\* Par arrêté du 21 décembre 2007 pris en application de l'article R.4451-55 du code du travail, l'IRSN est, depuis le 26 juin 2008, le centre national d'examen du Certificat d'aptitude à la manipulation des appareils de radiologie industrielle (CAMARI). Depuis cette date, l'IRSN a mis en place un dispositif d'examen selon les modalités définies par l'arrêté précité pour les 3 options concernées par le CAMARI (générateurs de rayons X, accélérateurs de particules et appareils de radiographie munis de source(s) radioactive(s)).

#### POUR EN SAVOIR PLUS

🔗 Certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle - CAMARI

une assistance technique et, dans l'attente de cette assistance, mettre en place une zone d'interdiction d'accès autour de l'appareil défectueux. En outre, la personne compétente en radioprotection (PCR) de la société aurait dû être contactée avant toute manipulation afin d'évaluer, au préalable, la dose collective et les doses individuelles susceptibles d'être reçues par le personnel et ainsi apprécier la pertinence des actions à réaliser au regard des risques d'irradiation encourus.

L'ASN a identifié, lors de ses inspections, que le non-respect de ces règles par les intervenants était lié au fait que certaines instructions de sécurité internes à la société ECW n'étaient pas conformes à l'autorisation précitée, qui interdit toute manipulation du gammagraphe en cas de **dysfonctionnement de l'obturateur**. En effet, les instructions de la société ECW stipulaient qu'en cas de mauvais fonctionnement de l'obturateur, les intervenants devaient « *colmater la fuite de rayonnement en plaquant un objet métallique de bonne épaisseur à l'avant du projecteur* ».

Pour ce qui concerne le retour du gammagraphe défectueux chez le fournisseur, effectué le 3 mars 2015, l'ASN a relevé que le transport avait été réalisé en deux temps. En effet, la première partie du trajet a été assurée, dans un véhicule, par le responsable de l'agence locale de la société ECW, et la seconde partie a été réalisée, dans un autre véhicule, par l'un des employés de la société, après transfert du colis entre les deux véhicules sur une aire d'autoroute. Cette opération ne respecte pas l'arrêté dit « TMD » (transport de marchandises dangereuses par voies terrestres – cf. le chapitre 1 du présent rapport), qui interdit tout chargement ou déchargement de colis contenant des matières dangereuses sur la voie publique. Par ailleurs, le responsable d'agence n'était pas titulaire d'une autorisation de détention et d'utilisation de la source radioactive contenue dans l'appareil. Il n'était pas autorisé, selon le certificat d'agrément du modèle de colis, à transporter la clé de verrouillage en même temps

### Quels événements significatifs en radioprotection dans le cadre d'activités de radiographie industrielle par gammagraphie ?

Chaque année, une dizaine d'incidents survenus lors d'opérations de contrôle par gammagraphie sont déclarés à l'ASN du fait de conséquences importantes ou potentiellement importantes du point de vue de la radioprotection. À cet égard, dans son rapport [sur l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France concernant l'année 2014](#), l'IRSN a présenté le bilan des événements survenus au cours de l'année 2014 et dresse une typologie des événements spécifiques à l'activité de gammagraphie. Il ressort notamment de ce bilan que les deux principales causes sont :

- la perte de contrôle de la source lors d'un tir, du fait du blocage de la source dans la gaine d'éjection ou dans le projecteur, ou de rupture du doigt d'obturateur lors de la réintégration de la source dans le projecteur ;
- des défauts d'application de dispositions opérationnelles réglementaires, concernant notamment le balisage et les règles relatives à l'entrée en zone d'opération.

#### POUR EN SAVOIR PLUS

en particulier sur les causes et les conséquences de ces événements :

[http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_bilan-annuel-travailleurs-2014.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_bilan-annuel-travailleurs-2014.pdf) - Chapitre « Domaine industriel non nucléaire », § « Zoom sur la gammagraphie », p. 88.

que l'appareil. En effet, dans ce cas, celle-ci doit faire l'objet d'une expédition distincte.

Cet événement a mis en évidence des lacunes au sein de l'agence locale de la société ECW, en matière :

- › de transposition des dispositions réglementaires à respecter en cas de dysfonctionnement d'un gammagraphe ;
- › de formation des intervenants à la préparation des colis et aux procédures à suivre pour les interventions d'urgence, comme l'exige l'ADR ;
- › d'organisation mise en œuvre en cas de détection d'un écart aux exigences réglementaires (déclaration tardive de l'évènement à l'ASN, absence d'information de l'incident auprès de la société au sein de laquelle était effectuée la prestation et opérations de rapatriement de l'appareil auprès du fournisseur contrevenant aux exigences de l'arrêté TMD et du certificat d'agrément du colis).

Les actions correctives mises en œuvre par la société ont notamment consisté en une mise à jour des instructions de sécurité afin de les rendre conformes aux dispositions réglementaires (interdiction de la manipulation d'un gammagraphe en situation « dégradée »). En outre, un rappel des mesures à adopter en situation « dégradée » a été fait à l'ensemble du personnel habilité, par l'intermédiaire d'une



**L'arrêté dit « TMD » (transport de marchandises dangereuses par voies terrestres) interdit tout chargement ou déchargement de colis contenant des matières dangereuses sur la voie publique.**

### Quelles dispositions réglementaires en cas de perte de « contrôle » de la source radioactive d'un gammagraphe ?

Le fait qu'une source soit en dehors de sa position de sécurité interdit toute intervention directe de l'opérateur compte tenu des débits de dose ambiants très élevés à proximité de l'appareil.

En effet, les prescriptions particulières applicables annexées aux autorisations délivrées par l'ASN stipulent que « *tout appareil présentant une défektivité est clairement identifié. Son utilisation est suspendue jusqu'à ce que la réparation correspondante ait été effectuée et que son fonctionnement ait été vérifié* ».

En outre, la conduite à tenir en cas de situation incidentelle est également précisée dans ces prescriptions qui prévoient que « *lors de toute situation incidentelle impliquant directement le fonctionnement du gammagraphe, le titulaire informera le fournisseur de l'appareil. Si nécessaire, il obtiendra son assistance technique en vue de la remise en état du gammagraphe, y compris le cas échéant sur site. Entre-temps, le titulaire s'assurera que toutes les dispositions nécessaires à la mise en sécurité des travailleurs, du public et de l'environnement ont été mises en place ; le titulaire s'assurera notamment de l'adéquation du périmètre de la zone d'interdiction d'accès et du balisage associé* ».





**Les écarts relatifs au verrouillage et à l'arrimage des appareils de gammagraphie ont concerné des expéditeurs qui sont des professionnels du contrôle par radiographie dans des industries n'appartenant pas au domaine de l'industrie nucléaire.**

1. Exemples de causes d'incidents de perte de contrôle de la source :
- présence de corps étranger dans la gaine d'éjection ou dans le canal du gammagraphe ;
  - endommagement des gaines d'éjection, de télécommande/réserve ;
  - désolidarisation du dispositif d'irradiation de la gaine d'éjection ;
  - rupture du raccord entre le câble de commande et le porte-source ;
  - rupture du porte-source.

note interne présentant les écarts relevés lors de l'évènement et par des sessions de sensibilisation animées par les PCR des différentes agences de la société.

### Enseignements

Parmi les 13 évènements ayant concerné des gammagraphes déclarés en 2014 et 2015 (figure 3.4), les écarts relatifs au verrouillage et à l'arrimage des appareils ont concerné des expéditeurs qui sont des professionnels du contrôle par radiographie dans des industries n'appartenant pas au domaine de l'industrie nucléaire, alors que les écarts de nature documentaire ont concerné des acteurs du nucléaire (notamment les CNPE d'EDF), utilisant des gammagraphes pour des contrôles radiographiques lors d'opérations de maintenance.

Pour l'IRSN, ce retour d'expérience montre une maîtrise insuffisante, par les sociétés concernées, des exigences réglementaires notifiées dans les autorisations délivrées par l'ASN et souligne l'importance de prendre en considération les

causes de nature technique qui sont à l'origine des évènements.

Ces sujets ont notamment fait l'objet de travaux au sein d'un groupe de travail créé par l'ASN, en 2012, au vu des évènements, aux conséquences radiologiques potentiellement importantes, liés à la perte de contrôle de la source radioactive d'appareils de gammagraphie<sup>1</sup> (source bloquée dans l'appareil, source déconnectée de la télécommande, source en dehors de l'appareil...), survenus en France lors des dix années précédentes.

Dans le cadre des missions de ce groupe de travail, composé du principal fournisseur d'appareils en France (Cegelec), des utilisateurs (entreprises de radiographie), des clients (Areva, EDF...) ainsi que de l'ASN et de l'IRSN, l'IRSN a notamment proposé une liste de scénarii potentiels de perte de contrôle de source et une analyse du retour d'expérience des évènements de cette nature survenus en France entre 2004 et 2014, par type d'évènement.

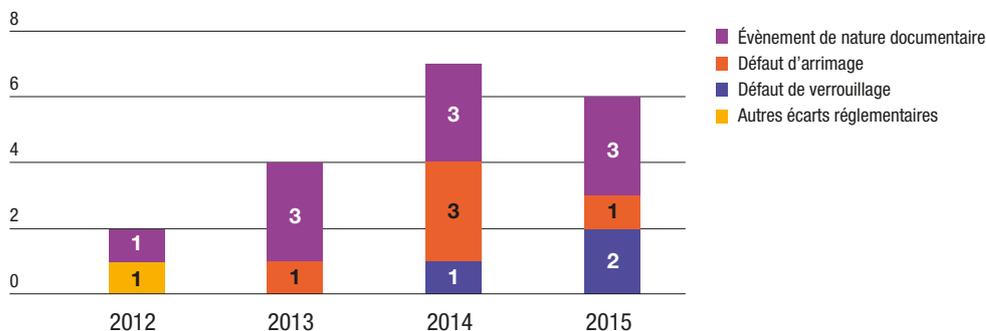
De plus, l'IRSN a étudié les dispositions techniques mises en œuvre sur des appareils de gammagraphie utilisés à l'étranger qui pourraient également être mises en place en France.

Les résultats de son expertise ont conduit l'IRSN à recommander, d'une part la mise en place de dispositions techniques permettant de prévenir l'occurrence de certains types d'incidents, d'autre part que des études soient menées par le fournisseur français de gammagraphes dans le but d'améliorer la robustesse des appareils utilisés en France.

En outre, la contribution des principaux utilisateurs de gammagraphes ainsi que du fournisseur français a permis la définition de procédures d'intervention en cas d'incident de blocage de sources en fonction du dysfonctionnement à l'origine de ce blocage et du niveau d'intervention nécessaire.

Les conclusions données par l'ASN à ces travaux devraient être publiées en 2016.

**Figure 3.4**  
Évolution du nombre d'évènements impliquant un gammagraphe déclarés de 2012 à 2015



## Événement du 29 septembre 2015 concernant un défaut de serrage de vis des capots amortisseurs d'emballages utilisés pour le transport d'éléments combustibles irradiés



Cet évènement, ainsi que les évènements similaires survenus en 2014 et 2015 dont il est représentatif, illustrent les défauts constatés dans la protection des colis.

### Contexte

Le nombre d'évènements relatif à un défaut de serrage d'une ou de plusieurs des vis assurant la fixation des capots amortisseurs des emballages de transport d'assemblages de combustible irradié a connu une forte augmentation en 2011 (figure 3.5). Cette année-là, 8 évènements de cette nature ont été déclarés, alors que leur occurrence était très limitée auparavant (3 évènements déclarés en dix ans).

Ces défauts de serrage sont susceptibles de conduire à la perte du capot amortisseur des emballages en cas de choc accidentel; dans ces conditions, si un incendie survenait consécutivement à l'accident, la protection des joints d'étanchéité assurant le confinement du colis serait dégradée.

Un tel scénario pouvant conduire à un relâchement de substances radioactives dans l'environnement, l'ASN avait demandé, début 2012, à EDF de mettre en place un plan d'actions visant à corriger les anomalies constatées (cf. le précédent rapport public de l'IRSN relatif à la sûreté des transports). L'analyse réalisée conjointement par EDF et le concepteur des types d'emballages impliqués (Areva TN) a conclu que des imprécisions dans la notice d'utilisation des emballages, relatives au graissage des vis, à leur ordre de serrage et au respect du temps d'attente nécessaire entre la pose et le serrage des vis, afin de prévenir le risque de perte d'effort de serrage par dilatation thermique différentielle, avaient pu entraîner un serrage insuffisant ou favoriser un desserrage des vis au cours du transport. À la suite de la révision des instructions de serrage et de la mise en place de doubles-contrôles indépendants sur l'ensemble des



Les défauts de serrage des vis assurant la fixation des capots amortisseurs des emballages sont susceptibles d'induire une désolidarisation de ces capots en cas de choc accidentel; dans ces conditions, si un incendie survenait consécutivement à l'accident, la protection des joints d'étanchéité assurant le confinement du contenu radioactif serait dégradée.

### Quel est le rôle des capots amortisseurs dont sont munis certains emballages de transport ?

La plupart des emballages utilisés pour le transport d'éléments combustibles irradiés, de déchets de haute activité et/ou de matières fissiles sont munis à leurs extrémités d'un capot, généralement constitué de blocs de bois, dont le rôle est d'amortir les chocs mécaniques en cas de chute et de protéger les éléments importants pour la sûreté du colis, tels que les joints assurant l'étanchéité de l'enveloppe de confinement de la substance radioactive, en cas d'incendie. Ceci est notamment le cas pour les emballages de type B utilisés pour le transport, vers l'établissement Areva NC de La Hague, d'assemblages de combustible irradié dans les réacteurs du parc électronucléaire d'EDF (figure 3.6). Les vis de fixation de ces capots amortisseurs sont graissées et serrées à l'aide d'une clé dynamométrique (figure 3.7) selon un couple de serrage assurant le maintien du capot en place en cas d'impact accidentel (chute du colis ou collision routière).

Figure 3.5  
Évolution du nombre de défauts de fixation de capots amortisseurs déclarés de 2011 à 2015

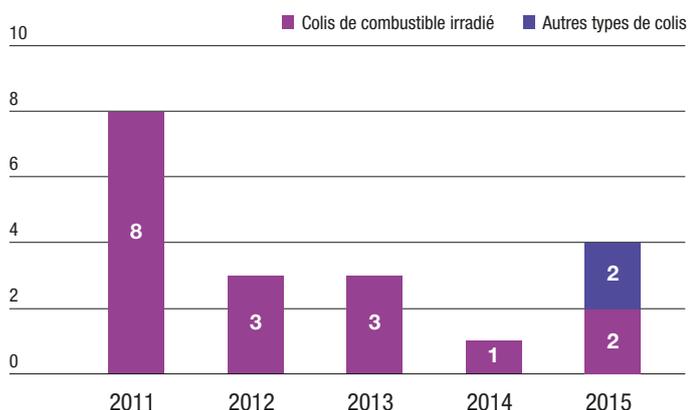


Figure 3.6  
Capot amortisseur d'un colis de type B utilisé pour le transport d'assemblages combustibles irradiés



Figure 3.7  
Opération de serrage des vis de capots amortisseurs

© AREVA/DR



**L'évènement déclaré le 29 septembre 2015 concerne un colis en provenance du CNPE de Cruas pour lequel le destinataire a constaté que le serrage de 4 vis des capots amortisseurs de l'emballage était défaillant.**



**Le desserrage des vis constaté à l'issue du transport ne peut être imputable à un non-respect des conditions de serrage des capots telles que prescrites par le concepteur de l'emballage.**



**Une hypothèse est que les vibrations rencontrées par les colis en cours de transport pourraient « favoriser » un desserrage des vis.**

sites expéditeurs d'EDF à partir d'octobre 2013, le nombre d'évènements de ce type a diminué. Toutefois, ces dispositions n'ont pas permis d'éliminer totalement ce type d'évènement, obligeant EDF et Areva TN à poursuivre la recherche des causes possibles de leur survenue.

### **Description de l'évènement**

L'évènement déclaré le 29 septembre 2015 concerne un colis en provenance du CNPE de Cruas (expéditeur) pour lequel le destinataire (établissement Areva NC de La Hague) a constaté que 4 vis étaient desserrées (une vis du capot avant et 3 vis du capot arrière). Cet évènement a été classé par l'ASN au niveau 0 sur l'échelle INES.

Cet évènement est similaire à ceux survenus le 13 février 2014 pour un colis en provenance du CNPE de Belleville-sur-Loire et le 18 juin 2015 pour un colis en provenance de la centrale de Borssele, aux Pays-Bas.

### **Analyse des causes de l'évènement et actions correctives**

L'analyse par l'expéditeur des documents opératoires n'a pas fait apparaître d'écart concernant les opérations de serrage. En particulier, la *check-list* remplie par les opérateurs en charge du serrage des capots amortisseurs suggère que la séquence de serrage, comprenant un contrôle visuel de l'état

de graissage des vis, le respect d'un temps d'attente minimal entre la pose des vis et leur serrage au couple, un pré-serrage des vis puis un serrage au couple en respectant un ordre de serrage « en étoile », a été effectuée conformément aux instructions d'utilisation. En outre, le serrage final a fait l'objet d'un contrôle par un opérateur différent à l'aide d'une clé de serrage distincte de celle utilisée lors du serrage initial.

L'expéditeur précise par ailleurs qu'aucune défaillance du matériel utilisé n'a été identifiée et que les deux clés dynamométriques utilisées avaient été contrôlées quelques jours auparavant. Par conséquent, il en conclut que le desserrage des vis constaté à l'issue du transport n'est pas imputable à un non-respect des conditions de serrage des capots telles que prescrites par le concepteur de l'emballage. Des conclusions similaires ont été formulées par les sites expéditeurs impliqués dans les évènements du 13 février 2014 et du 18 juin 2015.

Pour ce qui concerne les éventuelles conséquences de l'évènement, la société Areva TN, conceptrice de l'emballage, a démontré, sur la base de calculs de mécanique, que l'absence de serrage de trois vis sur un même capot ne pouvait pas entraîner sa désolidarisation du corps de l'emballage lors d'une chute du colis d'une hauteur de 9 m sur une cible indéformable conformément aux exigences applicables de la réglementation des transports.

La survenue de ces évènements a conduit EDF et le groupe Areva (via sa filiale Areva NC en tant que destinataire, et Areva TN en tant que concepteur des emballages impliqués et représentant des expéditeurs étrangers), réunis au sein d'un groupe de travail, à s'interroger sur la possibilité que de légères imperfections de capots d'emballage (défaut de planéité de l'interface avec le corps de l'emballage, jeux au niveau des pions de centrage) ou que les conditions de mise en place des capots sur les sites puissent engendrer des frottements et des pertes d'effort de serrage dans les vis lors de la phase de transport des

colis. Des calculs théoriques et des essais de serrage réalisés sur site n'ont cependant pas permis de conclure sur la pertinence de ces hypothèses.

Une autre hypothèse avancée dans le cadre de ce groupe de travail est que les vibrations subies par les colis en cours de transport puissent « favoriser » un desserrage des vis. **Ce phénomène d'« auto-desserrage » des vis a également été étudié par l'IRSN qui, en s'appuyant sur les résultats d'études théoriques et d'essais réalisés à travers le monde depuis plus d'un demi-siècle, a montré qu'une partie du spectre de vibrations mesurées à des fins d'analyse lors d'un transport d'emballage lourd présente des caractéristiques (fréquences et amplitudes) de nature à favoriser le desserrage des vis des emballages. De cette étude, il ressort que l'augmentation du couple de serrage des vis est la solution la plus efficace pour réduire l'occurrence de ce risque. À cet égard, une augmentation du couple devait être mise en œuvre à partir du 1<sup>er</sup> octobre 2016 sur l'ensemble des CNPE d'EDF après une mise à jour documentaire et l'approvisionnement de clés de serrage adaptées.**

### **Enseignements et actions entreprises par l'IRSN**

Les modifications des pratiques de serrage définies par le concepteur des emballages impliqués dans ces évènements ainsi que les actions de formation mises en place par EDF afin d'accompagner les opérateurs dans leur mise en application ont contribué à diminuer le nombre d'évènements déclarés ces quatre dernières années. L'augmentation du couple de serrage des vis évoquée ci-avant devrait permettre de réduire encore l'occurrence de ce type d'évènements.

Par ailleurs, le cas échéant, les conditions de desserrage des vis des capots amortisseurs pourraient faire l'objet d'une approche expérimentale visant à optimiser les procédures de serrage de ces vis.

#### **Quels sont les emballages concernés par les évènements de desserrage de vis de capots amortisseurs ?**

Entre 1999 et 2014, les évènements de desserrage de vis de fixation de capots amortisseurs ont tous concerné des emballages lourds utilisés pour le transport de combustibles irradiés.

En 2015, deux évènements ont été déclarés pour deux autres types d'emballages : un emballage de type B chargé de fûts de déchets solides et un emballage vide, utilisé préalablement pour un transport d'assemblages combustibles neufs de type « MOX » (oxyde d'uranium et de plutonium). La cause de ces évènements n'a pas, à ce jour, été formellement identifiée. Toutefois, l'hypothèse d'un desserrage des vis en cours de transport sous l'effet des vibrations a été avancée par le concepteur de ces emballages.

## Événement du 8 avril 2015 concernant la non-conformité du contenu transporté



Cet évènement, ainsi que les évènements similaires survenus en 2014 et 2015, illustrent la découverte de « corps étrangers » dans la cavité des emballages utilisés pour le transport d'assemblages combustibles irradiés.

### Contexte

Depuis 2009, plusieurs évènements ont été déclarés à l'ASN suite à la découverte, dans la cavité d'emballages utilisés pour le transport d'assemblages combustibles irradiés entre différents CNPE d'EDF et l'établissement Areva NC de La Hague, d'objets ou de matière dénommés « corps étrangers ». Ces « corps étrangers » sont, par exemple, des morceaux de tissu, du ruban adhésif ou des joints d'étanchéité de l'emballage. La découverte de ces « corps étrangers » a eu lieu, soit lors des contrôles visuels réalisés par Areva NC lors du déchargement de l'emballage, soit lors de l'entretien périodique de l'emballage.

Compte tenu des risques de décomposition de ces matières organiques, sous l'effet des rayonnements ionisants (phénomène de radiolyse) ou sous l'effet de la chaleur générée par les substances transportées (phénomène de thermolyse), conduisant à la

production d'hydrogène gazeux, qui est inflammable, dans la cavité de l'emballage en cours de transport, un plan d'actions a été mis en place en 2011 par EDF et Areva NC pour éviter le renouvellement de ce type d'évènements (*cf. le précédent rapport IRSN sur la sûreté des transports*). Ce plan d'actions<sup>2</sup> a conduit, dès l'année suivante, à une baisse du nombre d'évènements déclarés sans toutefois les éliminer totalement (figure 3.8).

### Description de l'évènement

Le 8 avril 2015, un morceau de tissu, de 15 mm sur 5 mm, dont la masse a été estimée à moins d'un gramme, a été découvert dans la cavité d'un emballage de transport d'assemblages combustibles irradiés, lors d'une opération de maintenance de cet emballage.

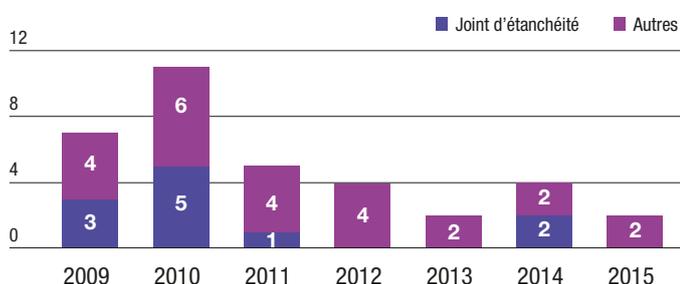
En 2014 et 2015, 5 évènements similaires ont concerné également des emballages de même type. Deux de ces évènements ont concerné la découverte, dans la



Le 8 avril 2015, un morceau de tissu, de 15 mm sur 5 mm, dont la masse a été estimée à moins d'un gramme, a été découvert dans la cavité d'un emballage de transport d'assemblages combustibles irradiés, lors d'une opération de maintenance de cet emballage.

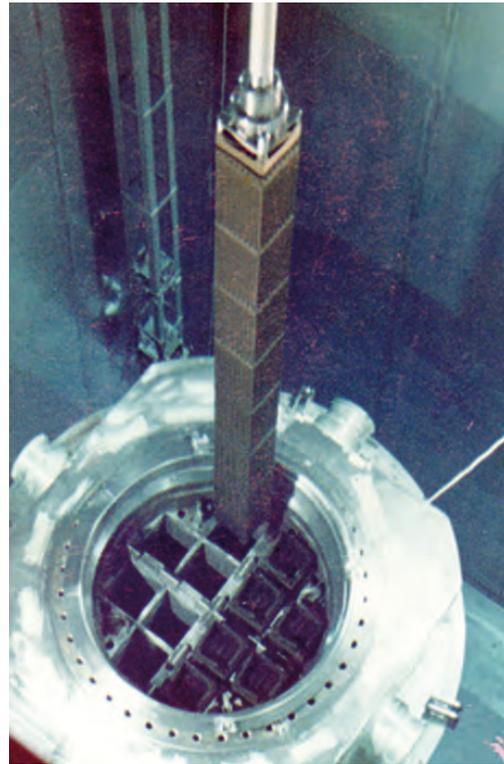
<sup>2</sup>. Pour mémoire, le plan d'actions comprenait notamment, de la part de l'expéditeur, un renforcement du contrôle de la « propreté » de la cavité des emballages avant chargement, des zones de travail et des outils utilisés pour les opérations de chargement des assemblages combustibles irradiés dans les emballages. En parallèle, le concepteur des emballages impliqués a modifié la géométrie de la gorge de joint de certains composants des emballages afin de prévenir leur aspiration dans la cavité lors de sa mise en dépression avant transport.

Figure 3.8  
Évolution du nombre de découvertes de « corps étrangers » dans les colis de combustible irradié pendant la période 2009-2015





La présence dans les circuits des réacteurs nucléaires d'EDF, ou dans les assemblages combustibles de ces réacteurs, de corps migrants pouvant être similaires à ceux retrouvés dans les cavités d'emballages, a fait l'objet de déclarations d'événements à l'ASN.



© EDF/DR

**Figure 3.9**  
Opération de chargement sous eau d'un assemblage combustible irradié dans un emballage de transport

cavité de l'emballage, d'un joint d'étanchéité équipant l'une des tapes de fermeture de l'emballage et les trois autres ont concerné la découverte d'autres types de matières organiques (bande adhésive, éclats de peinture, morceau de plastique et morceau de tissu).

réalisée avant les opérations de remplacement systématique de la gorge de joint des tapes de l'emballage. Aussi, la chute ou l'aspiration dans la cavité de ces corps étrangers a pu survenir avant que les contrôles renforcés ne soient pleinement effectifs.

#### **Analyse des causes des événements et actions correctives**

Pour l'évènement du 8 avril 2015, la précédente maintenance<sup>3</sup> de l'emballage avait été réalisée en novembre 2013, c'est-à-dire après la mise en application par l'expéditeur du plan d'actions visant à assurer la « propreté » de la cavité des emballages. Cet évènement ayant été considéré par l'exploitant comme « intéressant la sûreté », il n'a pas fait l'objet d'une analyse transmise à l'ASN<sup>4</sup>. Les causes de cet évènement ne sont donc pas connues.

Pour les 5 autres évènements, la précédente maintenance des emballages concernés avait été réalisée avant la mise en application du plan d'actions de 2011 ; notamment, dans le cas des découvertes de joints dans la cavité, la maintenance avait été

#### **Enseignements**

Pour l'IRSN, la baisse du nombre d'évènements portant sur la découverte de « corps étrangers » dans des emballages de transport de combustibles irradiés confirme la pertinence des actions mises en œuvre par l'expéditeur et par le concepteur des emballages concernés depuis 2011. Toutefois, la survenue d'un évènement après la mise en place de ces actions indique que ce sujet doit continuer à faire l'objet d'une attention particulière de la part des acteurs impliqués.

À cet égard, pour les sites des réacteurs de puissance, en raison de l'intensité du rayonnement émis par les assemblages combustibles irradiés, les opérations de chargement de ces assemblages dans les emballages de transport sont effectuées sous eau (figure 3.9).

**3.** La fréquence de maintenance diffère selon les composants de l'emballage. Les joints assurant l'étanchéité du colis sont par exemple remplacés après 15 transports ou, au moins, tous les 3 ans.

**4.** Seule une estimation de la quantité de gaz inflammables ayant pu être relâchée dans la cavité de l'emballage par la radiolyse et la thermolyse du « corps étranger » découvert a été effectuée. Celle-ci a conclu à l'absence de dépassement de la teneur en gaz pouvant conduire à un risque d'inflammation pour les transports réalisés dans cet emballage depuis novembre 2013.

L'opérateur en charge de la manipulation des assemblages opère depuis un poste de commande distant.

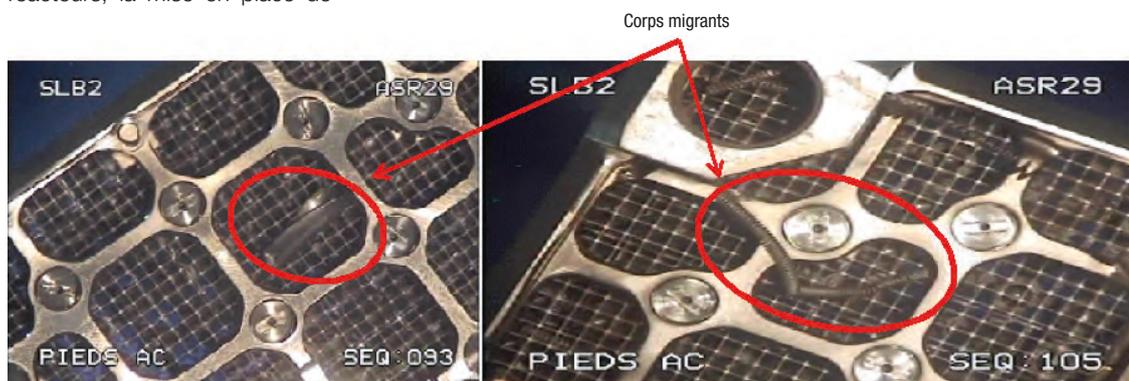
Les contrôles de la « propreté » de la zone de chargement de l'emballage et de la cavité ne peuvent ainsi s'effectuer qu'à l'aide de caméras immergées, ce qui ne permet pas toujours de détecter des objets de très petite taille comme ceux retrouvés dans la cavité des emballages lors des événements précités.

Par ailleurs, la présence dans les circuits des réacteurs nucléaires d'EDF, ou dans les assemblages combustibles de ces réacteurs, de **corps migrants** pouvant être similaires à ceux retrouvés dans les cavités d'emballages, a fait l'objet de déclarations d'événements à l'ASN (cf. [le rapport de l'IRSN sur la sûreté et la radioprotection du parc électronucléaire français en 2014](#)). À cet égard, les actions proposées par EDF, dès 2008, dans le cadre du programme dit « FME » (*Foreign Material Exclusion*), telles que l'intégration aux pratiques de travail de dispositions visant à limiter le risque d'introduction de corps étrangers dans les circuits des réacteurs, la mise en place de

grilles anti-débris ou l'utilisation de systèmes d'écoute acoustique facilitant la détection des objets métalliques, ont permis de réduire le nombre d'événements déclarés. Des actions complémentaires ont également été proposées par EDF, en 2015, pour renforcer la démarche « FME ».

**Pour l'IRSN, les dispositions précitées contribuent à l'amélioration de la « propreté » des emballages de transport de combustible irradié.**

**En outre, les opérations de maintenance qui seront réalisées dans les années à venir sur ces emballages devraient permettre de vérifier le bien-fondé des opérations de remplacement systématique de la gorge de joint des tapes des emballages.**



#### Qu'appelle-t-on corps migrants dans les réacteurs de puissance ?

Les corps migrants sont des corps, de natures et de formes diverses, qui sont accidentellement introduits dans les circuits d'un réacteur de puissance, au cours d'activités de maintenance ou d'exploitation (copeaux métalliques, limaille, rubans adhésifs, vis, rondelles, clés, tournevis... - [figure 3.10](#)), lors de manutentions d'assemblages combustibles, à la suite de défaillances de matériels entraînant la rupture ou la désolidarisation de pièces ou du fait de négligences humaines (oubli ou chute d'objets).

#### POUR EN SAVOIR PLUS

cf. l'article en page 24

[du rapport de l'IRSN sur la sûreté et la radioprotection du parc électronucléaire français en 2012](#)

**Figure 3.10**

Photographies de corps migrants retrouvés sous la grille anti-débris d'assemblages combustibles

# Glossaire

## A

### Accident ou incident

Tout événement non prévu en fonctionnement normal et susceptible d'avoir des conséquences pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement ; les conséquences potentielles ou réelles d'un accident sont plus graves que celles d'un incident

### Accident de criticité

Déclenchement d'une réaction de fission en chaîne incontrôlée au sein d'un milieu initialement sous-critique

### Activité

Nombre de désintégrations spontanées de noyaux atomiques par unité de temps. L'unité d'activité est le Becquerel (Bq)

### Activité spécifique

Activité par unité de masse de substance radioactive (s'exprimant en Becquerel par gramme – Bq/g)

### ADN

*European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by inland waterways.*

Sigle anglais pour l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieure

### ADR

*European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by Road.* Sigle anglais pour l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par la route.

L'ADR contient plusieurs directives concernant le conditionnement, l'arrimage et le repérage des marchandises dangereuses ainsi que leur transport par route

### Analyse de sûreté

Ensemble des examens techniques destinés à apprécier, en fonction de l'évaluation des risques, les dispositions propres à assurer la sûreté nucléaire

### Arrêté TMD

Texte spécifiant les exigences spécifiques applicables aux transports nationaux et internationaux de marchandises dangereuses par route, par chemin de fer et par voies de navigation intérieures effectués sur le territoire français. Ces règles

peuvent compléter celles édictées par l'ADR, le RID et l'ADN et en préciser les modalités d'application

### Assemblage combustible

Faisceau de crayons de combustible, reliés par une structure métallique, utilisé dans les réacteurs nucléaires

## B

### Becquerel (Bq)

Unité de radioactivité, 1 Bq = 1 désintégration par seconde. Cette unité est très petite et la mesure se fait souvent en utilisant un multiple du Bq, le méga Becquerel (MBq) =  $10^6$  Bq = 1 million de Bq. Le Bq a remplacé le curie (Ci) qui donnait l'activité de 1 gramme de radium, 1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  désintégrations par seconde, soit 37 milliards de Bq

## C

### Colis

Ensemble constitué par les substances radioactives transportées et par l'emballage de transport qui les contient

### Combustible nucléaire

Matière fissile (capable de subir une réaction de fission) utilisée dans un réacteur pour y développer une réaction nucléaire en chaîne. Après utilisation dans un réacteur nucléaire, on parle de combustible irradié ou de combustible usé

### Combustible usé

Combustible nucléaire ayant été irradié dans le cœur d'un réacteur duquel il est définitivement retiré

### Confinement

Maintien des substances radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé grâce à un ensemble de dispositions visant à empêcher leur dispersion en quantités inacceptables au-delà de cet espace ; par extension, ensemble des dispositions prises pour assurer ce maintien

### Contamination

Présence de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque. Pour l'homme, la contamination peut être externe (sur la peau) ou interne (par respiration ou ingestion)

### Criticité

État d'un milieu dans lequel s'entretient à niveau constant une réaction nucléaire en chaîne

### Cycle du combustible

Ensemble des opérations industrielles auxquelles est soumis le combustible nucléaire

## D

### Débit de dose (DD)

Intensité d'irradiation (énergie absorbée par la matière par unité de masse et de temps). Il se mesure en Gray par seconde (Gy/s)

### Débit d'équivalent de dose (DeD)

Débit de quantité de dose absorbée, pondérée quant aux effets biologiques par des facteurs de qualité différents selon les rayonnements. S'exprime généralement en millisievert par heure (mSv/h)

### Déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée

### Décroissance radioactive ou désactivation

Diminution naturelle de l'activité nucléaire d'une substance radioactive par désintégrations spontanées

### Défense en profondeur

Principe de sûreté qui consiste à mettre en place plusieurs niveaux de défense successifs, et suffisamment indépendants, visant la prévention des dégradations des fonctions de sûreté des installations, ou des colis, et de leurs équipements, ainsi que la limitation des conséquences en cas de dégradation de ces fonctions

## E

### Échelle INES

Échelle destinée à faciliter la perception par les médias et le public de l'importance, en matière de sûreté, des incidents et des accidents nucléaires ; elle définit 8 niveaux de gravité (de 0 à 7) en fonction des conséquences de ces événements

**Emballage**

Assemblage des composants nécessaires pour contenir de façon sûre les substances radioactives transportées. L'emballage peut inclure différents matériaux spécifiques destinés à absorber les rayonnements ou à assurer une isolation thermique, des équipements de service, des structures antichocs, des dispositifs pour la manutention et l'arrimage

**Enrichissement**

Procédé par lequel on accroît la teneur en isotopes fissiles d'un élément. Le processus conduit à la séparation du produit en deux parties dites respectivement enrichie et appauvrie en l'isotope recherché

**Enveloppe de confinement**

Dispositif capable d'empêcher ou de limiter la dispersion des substances radioactives hors de l'emballage

**Événement intéressant la sûreté**

Écart déclaré par un exploitant (ou un expéditeur) et qui n'entre pas dans les critères précisés par l'Autorité de sûreté nucléaire

**Événement significatif**

Écart présentant une importance particulière selon des critères précisés par l'Autorité de sûreté nucléaire

**Exploitant**

Personne physique ou morale exploitant une installation nucléaire de base (INB)

**Exposition**

Fait d'être exposé aux rayonnements ionisants (exposition externe si la source est située à l'extérieur de l'organisme, exposition interne si la source est située à l'intérieur de l'organisme)

**F****Facteurs organisationnels et humains (FOH)**

Facteurs ayant une influence sur la performance humaine, tels que les compétences, l'environnement de travail, les caractéristiques des tâches et l'organisation

**Fissile**

Un nucléide est dit fissile si son noyau est susceptible de subir une fission sous l'effet de neutrons de toutes énergies

**Fission**

Éclatement du noyau d'un atome sous l'action de neutrons. Cette réaction est accompagnée d'une émission de neutrons, de rayonnements ionisants et d'un fort dégagement de chaleur

**G****Gray**

Unité légale permettant de mesurer la quantité de rayonnements absorbés par un organisme ou un objet exposé aux rayonnements (symbole : Gy). Un gray correspond à une dose absorbée de 1J/kg de matière. Quelques exemples : une radiographie dentaire : 0,2 mGy, un cliché thoracique : 1 mGy, une séance de radiothérapie : 2 Gy.

**H****Hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>)**

Composé de l'uranium utilisé dans l'étape d'enrichissement isotopique de l'uranium lors de la fabrication du combustible nucléaire

**I****Indice de transport (IT)**

Nombre désignant l'intensité de rayonnement (débit de dose - DD) la plus élevée, en mSv par heure (mSv/h), que l'on puisse mesurer à une distance de 1 m des surfaces externes du colis. Le nombre obtenu doit être multiplié par 100 et arrondi au dixième le plus proche (par exemple, si le DD à 1 m est de 0,012 mSv/h, l'IT = 1). Ce nombre figure sur les étiquettes des colis

**Installation nucléaire de base (INB)**

Installation soumise, de par sa nature ou en raison de la quantité ou de l'activité des substances radioactives qu'elle contient, à la loi du 13 juin 2006 (dite loi TSN) et à l'arrêté du 7 février 2012. Ces installations doivent être autorisées par décret pris après enquête publique et avis de l'ASN. Leurs conception, construction, exploitation (en fonctionnement et à l'arrêt) et démantèlement sont réglementés

**Irradiation**

Exposition, volontaire ou accidentelle, d'un organisme, d'une substance

ou d'un corps à des rayonnements ionisants

**Isotopes**

Éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom et les mêmes propriétés chimiques mais des propriétés nucléaires (notamment une probabilité de fission ou une radioactivité) pouvant être différentes

**L****Livre orange**

Document contenant les recommandations de l'Organisation des nations unies (ONU) relatives au transport des marchandises dangereuses qui constituent les prescriptions de base pour un transport sûr des marchandises dangereuses par route, chemin de fer, voies de navigation intérieure, mer ou air, et qui servent de base aux instruments juridiques régulant le transport de ces marchandises par les différents modes de transport

**M****Maintenance**

Ensemble des actions permettant de maintenir ou de ramener un matériel dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé

**Matière dangereuse**

Substance qui peut présenter un danger grave pour l'homme, les biens ou l'environnement, par ses propriétés physiques ou chimiques, ou encore par la nature des réactions qu'elle est susceptible de provoquer. Elle peut être inflammable, toxique, explosive, corrosive ou radioactive. Les matières dangereuses sont énumérées dans la liste des marchandises dangereuses des règlements du transport ou, si elles ne figurent pas sur cette liste, sont classées conformément aux réglementations internationales

**Matière fissile**

Substance constituée de radionucléides capables de fissionner

**Modérateur**

Matériau susceptible de ralentir les neutrons issus de la fission nucléaire

# Glossaire

## MOX

Mélange d'oxydes mixtes d'uranium et de plutonium destiné à la fabrication de certains combustibles nucléaires

## N

### Neutron

Particule fondamentale électriquement neutre qui entre, avec les protons, dans la composition du noyau de l'atome. Lorsqu'un neutron est à l'état de particule libre portée à grande vitesse, sa collision avec certains noyaux d'atome provoque la fission de ces noyaux. La chaleur dégagée par cette réaction est utilisée dans les réacteurs nucléaires

## O

### Opération de transport interne

Transport de marchandises dangereuses réalisé dans le périmètre d'une installation nucléaire de base à l'extérieur des bâtiments et des parcs d'entreposage ou opération concourant à sa sûreté y compris à l'intérieur des bâtiments et des parcs d'entreposage

## P

### Période radioactive

Temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif ait diminué de moitié (période aussi appelée « demi-vie »)

### Plutonium

Élément chimique transurannique de numéro atomique 94 et de symbole Pu ; l'isotope 239 a une période radioactive de 24 110 ans

### Produits de fission

Fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure des éléments formés selon ce processus. Les produits de fission sont issus de la fission des atomes d'uranium et de plutonium (césium, strontium, iode, xénon...). Radioactifs pour la plupart, ils se transforment d'eux-mêmes en d'autres éléments. Ceux qui ne se désintègrent pas rapidement constituent une part des déchets radioactifs.

## R

### Radiamètre

Appareil destiné à la détection et à la mesure des rayonnements émis par des substances radioactives. Il existe différents modèles qui permettent de mesurer certains rayonnements en particulier, et qui donnent la dose absorbée / le débit de dose / le débit d'équivalent de dose, etc.

### Radioactivité

Propriété de certains éléments chimiques dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants

### Radioélément

Élément radioactif naturel ou artificiel

### Radiolyse

Décomposition de substances chimiques sous l'effet de rayonnements ionisants

### Radionucléide

Isotope radioactif d'un élément

### Rayonnement ionisant

Ondes électromagnétiques (gamma) ou particules (alpha, bêta, neutrons) émises lors de la désintégration de radionucléides, qui produisent des ions en traversant la matière

### Requérant

Entité sollicitant l'Autorité de sûreté nucléaire pour l'obtention d'un agrément d'un modèle de colis

### Retraitement

Traitement des combustibles usés pour en extraire les matières fissiles et fertiles (uranium et plutonium), de façon à permettre leur réutilisation, et pour conditionner les différents déchets sous une forme apte au stockage

### RID

*Regulations concerning the International carriage of Dangerous goods by rail*, sigle anglais pour le règlement concernant le transport international des marchandises dangereuses par voie ferroviaire

## S

### Sievert (Sv)

Unité qui permet de mesurer les effets biologiques produits par les rayonnements ionisants sur un

organisme exposé (selon sa nature et les organes exposés) également appelés équivalent de dose. Cette unité étant très grande, il est courant d'utiliser un sous-multiple du Sv, le millisievert (mSv) =  $10^{-3}$  Sv ou 1 millième de Sv.

### Sources radioactives

Substances qui contiennent un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection

### Substances radioactives

Substances contenant des radioéléments naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection

### Sûreté nucléaire

Ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires ainsi qu'au transport des substances radioactives prises en vue de prévenir les accidents et d'en limiter les effets

## T

### Thermolyse

Décomposition de substances chimiques sous l'effet de la chaleur

### TRANSSC

*TRANSport Safety Standards Committee* (comité de l'AIEA sur les normes de sûreté des transports de matières radioactives)

### Transuraniens

Famille des éléments chimiques plus lourds que l'uranium (numéro atomique 92) ; les principaux sont : Neptunium (93), Plutonium (94), Americium (95), Curium (96)

## U

### Uranium

Élément chimique de numéro atomique 92 et de symbole U, possédant trois isotopes naturels : l'uranium 234, l'uranium 235 et l'uranium 238. L'uranium 235 est le seul nucléide fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie

POUR TOUT RENSEIGNEMENT :

**IRSN**  
**Pôle Sûreté des installations et Systèmes Nucléaires**  
**BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex**

Téléphone : 01 58 35 78 44

Télécopie : 01 58 35 79 73

**Mail : [irsn\\_rapports\\_mission\\_psn@irsn.fr](mailto:irsn_rapports_mission_psn@irsn.fr)**

Le présent rapport est disponible  
sur internet à l'adresse suivante :

[www.irsn.fr/transport-2015](http://www.irsn.fr/transport-2015)

N° de rapport : IRSN/DG/2016-0005

Tous droits réservés IRSN

Novembre 2016

Conception graphique :

**[www.grouperougevif.fr](http://www.grouperougevif.fr) - ROUGE VIF**

Impression :

Ce document a été imprimé  
par une entreprise certifiée Imprim'vert  
sur du papier PEFC.

PHOTO DE COUVERTURE  
**Transport d'emballage de  
combustibles usés vers l'usine  
de traitement des combustibles  
usés de Areva NC La Hague**

© JEAN-MARIE TAILLAT/AREVA

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Siège social:**

31, avenue de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
RCS Nanterre B 440 546 018

**Téléphone:**

+33 (0)1 58 35 88 88

**Courrier:**

BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

**Site Internet:**

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

 @IRSNFrance, @suretenucleaire