

## LE TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES

### 1. LIMINAIRE

Le risque résultant du transport des matières dangereuses est un élément important du risque technologique. Le trafic de ces matières est considérable, en particulier le trafic des hydrocarbures et celui des produits chimiques, les matières radioactives ne représentant qu'une faible part de ces trafics évalué à 2 %, en nombre. A titre d'exemple, près de la moitié du trafic maritime concerne les matières dangereuses, chaque jour des centaines de camions transportant des matières dangereuses sillonnent nos routes.

Le transport s'effectuant naturellement sur les lieux publics, tout accident mettant en cause des matières dangereuses peut conduire à des conséquences graves tant au niveau des individus que de l'environnement, auxquels s'ajoutent des détriments économiques élevés. Cette activité de par sa nature ne peut être contenu à l'intérieur d'un état, il a été jugé très tôt nécessaire de mettre en place un système international ayant pour objectif de limiter les conséquences des accidents de transport de ces matières.

Des règlements ont été mis en place en 1957 par l'ONU pour tous les modes de transport, par route, par rail, par voie fluviale, par air, par voie maritime, imposant des normes strictes pour leur transport, les matières dangereuses étant classées suivant la nature du danger en 13 classes, la classe 7 concernant les matières radioactives.

L'ONU a confié en 1959 à l'AIEA la responsabilité de développer les recommandations pour la classe 7. Les premières recommandations ont été formulées en 1964. Les recommandations de l'AIEA font l'objet de révisions tous les 10 ans afin de tenir compte des progrès techniques, des pratiques et de l'expérience acquise. La révision la plus importante date de 1996, la version en cours date de 2012.

Ces mises à jour sont le résultat du travail de dizaines d'experts des états membres et d'organismes internationaux de recherche qui élaborent les nouvelles recommandations dans le cadre de réunions de consultants, de comités techniques et de groupes consultatifs auxquels participe la Commission européenne. En France, l'autorité compétente pour le transport des substances radioactives est l'ASN (voir [fiche GAENA N° 25](#)).

### 2. ORIGINES DE LA RÉGLEMENTATION DES TRANSPORTS

Si on excepte la réglementation de l'AIEA concernant les matières radioactives, il faut reconnaître que les réglementations concernant les autres matières si elles ont contribué à améliorer considérablement la sûreté de ces transports sont extrêmement complexes et sont basées principalement sur les propriétés intrinsèques de la matière sans référence explicite aux dommages sanitaires et qu'elles s'attachent surtout à garantir un niveau de sûreté élevé pour les conditions normales et incidents de routine, la prise en compte des accidents étant reportée au stade de l'intervention.

Par exemple l'incendie, qui est un événement non exceptionnel n'est jamais considéré au stade du conditionnement, les navires citernes n'ont pas de double coque anti collision (ce n'est que suite aux naufrages de l'Erika et du Prestige que l'OMI (Organisation Maritime Internationale) a imposé l'élimination des tankers à simple coque qui ne sera effective au plus tard qu'en 2015.

C'est la raison pour laquelle on constate – hélas ! Malgré ces réglementations de nombreux accidents conduisant à des conséquences graves. Pour ne citer que quelques exemples depuis 1970 on peut citer :

- **Pour les transports routiers**

- l'accident routier de Los Alfaqués en Espagne (1978 – explosion d'un camion-citerne de propylène – 200 morts), les accidents routiers en France de St Amand (1973 – incendie d'un camion-citerne après renversement 1993 – 9 morts, 46 blessés et 13 maisons détruites), l'accident routier de Port St Foy (1997 – incendie suite à une collision avec un autorail – 12 morts et 40 blessés), incendie du tunnel du Mont-Blanc Mars 1999 – 39 morts).

- les accidents ferroviaires de Voulton sur Rhône (1993 – déraillement de 20 wagons citernes d'essence suivis du renversement de 3 citernes avec explosion) qui a conduit à l'évacuation de 500 personnes et 6 blessés), l'accident de Mississauga au Canada (1979 – déraillement de 20 wagons citernes de propane et toluène qui ont explosé) conduisant à l'évacuation de 220.000 personnes pendant près d'une semaine.
- **Pour les transports maritimes**
  - les accidents de tankers pétroliers au large des côtes bretonnes (1976 : Bolhen ; 1978 – Amoco Cadiz, 1999 : Erika) et au large des côtes de Galice (2002 : Prestige). Ces accidents maritimes ont conduit à des pollutions importantes des côtes s'étendant sur plusieurs milliers de km pour le plus spectaculaire en Galice et des interdictions de pêche pendant plusieurs mois, des dépenses importantes pour l'intervention et des préjudices évalués dans le cas du Prestige à 100 millions € pour la France et à 1 milliard € pour l'Espagne.

### 3. LES DANGERS DU TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Les matières radioactives sont des matières dangereuses, c'est-à-dire des matières qui présentent des risques vis-à-vis des personnes et de l'environnement au cours de leur utilisation et en particulier pendant le transport.

Le transport s'effectuant naturellement dans l'espace public présente des dangers dont il faut se prémunir à la fois dans les conditions normales et accidentelles à la fois pour les travailleurs des transports que pour le public. Aussi des règles à caractère universel ont été édictées afin d'assurer ces transports dans des conditions optimales de sûreté à partir de deux impératifs :

- ne pas entraver le caractère international des transports
- permettre le recours à tous les modes de transport (route, rail, voie fluviale, aérien, maritime) sans imposer de contraintes excessives à ces différents modes de transport

Les risques majeurs liés au transport des matières radioactives sont les suivants :

- le risque d'inhalation ou d'ingestion de particules radioactives dans le cas de rejet de substances radioactives dans l'environnement
- le risque d'irradiation externe dans le cas de la détérioration de la protection biologique des colis
- la contamination de l'environnement dans le cas de relâchement de substances radioactives
- le démarrage d'une réaction nucléaire non contrôlée (risque de criticité) pouvant occasionner une irradiation grave des personnes

Des risques subsidiaires peuvent s'ajouter le cas échéant, par exemple la pollution chimique comme dans le cas du transport d'UF6 naturel (toxicité très élevée de l'acide fluorhydrique en cas de relâchement par réaction avec l'humidité de l'air), le risque d'incendie, le risque de dégagement thermique des substances transportées pouvant endommager les matériaux constitutifs du colis.

### 4. ENJEUX DU TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES EN FRANCE

Environ 980 000 colis de substances radioactives sont transportés chaque année : ils représentent une très faible part du nombre total de colis de marchandises dangereuses transportés chaque année sur le territoire français.

Parmi les colis contenant des substances radioactives, 12 % sont produits par l'industrie nucléaire, contre 88 % produits par les activités du nucléaire de proximité (industries, activités médicales, recherche).

On estime à environ 14 000 par an le nombre total de transports nécessaires au cycle du combustible pour l'activité des centrales nucléaires, répartis comme suit :

- combustible neuf (UO<sub>2</sub>) : environ 400 transports
- combustible usé : environ 800 transports
- hexafluorure d'uranium : environ 2 200 transports



Emballage de transport de combustibles usés

Le reste étant représenté par le transport :

- de déchets radioactifs à destination des centres de stockage (environ 5 000 transports)
- de combustible MOX (environ 400 transports)
- de sources radioactives à usage industriel ou à des fins de recherche (300 transports)
- de matières ou d'objets radioactifs divers (environ 1 900 transports)

Un millier de transports (environ 50 000 colis) en provenance ou à destination de l'étranger ont lieu chaque année. La radioactivité de ces différents colis, dont la masse varie de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes, va de quelques milliers de becquerels pour des colis pharmaceutiques de faible activité à des millions de milliards de becquerels pour des combustibles irradiés ou usés.

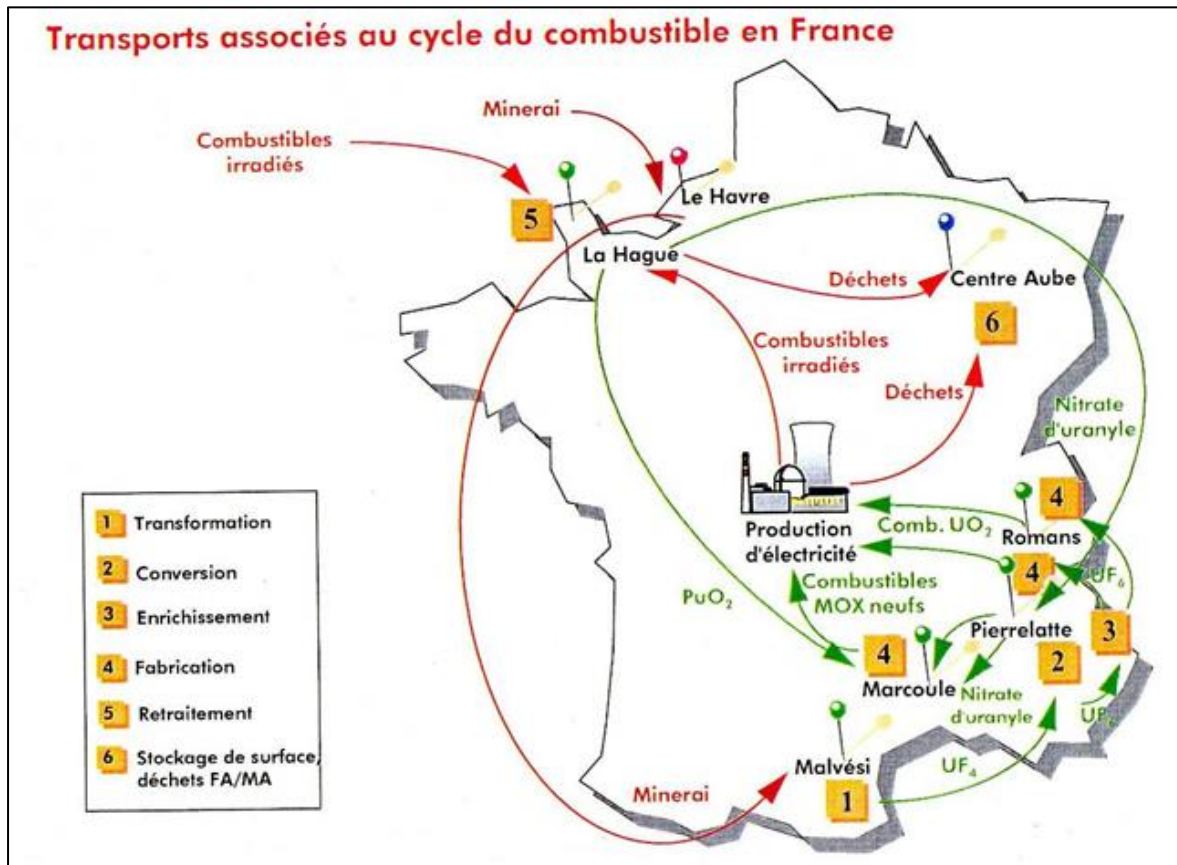


Figure 1 : Cartographie des transports de matières radioactives en France

## 5. PRINCIPES DE SÛRETÉ DES TRANSPORTS DE MATIÈRES RADIOACTIVES

### 5.1. GÉNÉRALITÉS

La sécurité des transports de matières radioactives repose sur le concept de la défense en profondeur, qui comprend trois composantes :

- **la robustesse des colis** : l'emballage est adapté à son contenu radioactif en toutes circonstances au cours du transport, de telle sorte que la sécurité des travailleurs et de la population soit garantie
- **la fiabilité des transports** : cette fiabilité exige que les opérations se déroulent dans le respect des règles prévues par le règlement pour le transport des marchandises dangereuses, spécifiques de chaque mode de transport
- **la prévention et la gestion des incidents et accidents** : un dispositif de gestion de crise est prévu pour le cas où un incident ou un accident surviendrait

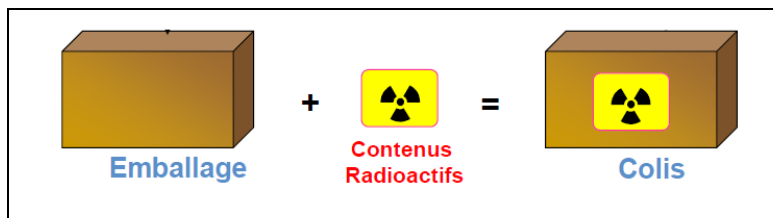
La sécurité a pour objectif de "protéger les personnes, les biens et l'environnement contre les effets des rayonnements pendant le transport des matières radioactives". Les règlements imposés permettent d'assurer le confinement du conteneur radioactif, la maîtrise de la quantité et de la nature de matière ainsi que sa disposition dans un volume donné, le nombre de colis admissible par chargement, la protection des dommages causés par la chaleur ou les chutes, et lorsqu'il s'agit de matières fissiles – distance entre les colis.

C'est pourquoi les matières radioactives sont conditionnées dans des emballages de transport formant un colis dont la résistance est telle que la quantité de matière qui pourrait s'échapper en cas d'événement anormal en cours de transport, n'entraînerait pas un risque radioactif dépassant les normes réglementaires.

***Ceci est un principe de base de la réglementation***

## 5.2. CONCEPTION DES EMBALLAGES

La réglementation définit différents types d'emballages et fixe les critères à appliquer pour leur conception en fonction de l'activité et de la forme des matières radioactives qu'ils peuvent contenir. Sept types de colis sont définis dans l'ordre croissant des exigences.



### • Colis exceptés

Ils contiennent des activités totales si limitées que même si leur contenu était totalement relâché les conséquences seraient négligeables ; ces colis doivent répondre à un minimum de spécifications.

Les colis exceptés concernent la plupart des radio-isotopes utilisés pour le diagnostic médical, et la recherche ainsi que certains articles et instruments, dosimètres, appareils de mesure de niveau.

### • Colis industriels (colis IP-1, IP-2 et IP-3)

Ils contiennent des matières dont l'activité spécifique (activité par gramme de matière) est très faible et qui peuvent être transportées en grande quantité sans risque en cas de relâchement. Ils doivent résister à une chute d'une hauteur de 1,2 m.

Les colis industriels concernent les minerais, les concentrés et composés d'uranium naturel et la plupart des déchets de faible activité massique (solides ou liquides).

### • Colis de type A

Les colis de type A sont conçus pour une activité totale transportée limitée par la réglementation en vigueur et concernent essentiellement le combustible neuf, les petites sources à usage radio pharmaceutique ou médical ainsi que certains déchets solides non compactables.

Ils doivent répondre à des événements de transport caractérisés par des épreuves simulant des incidents de transport de routine :

- épreuve d'aspersion d'eau simulant une forte pluie,
- résistance à une chute de 1,2 m pour les colis conçus pour des matières solides, et de 9 m pour les colis conçus pour des liquides ou des gaz,
- épreuve de pénétration par une barre de 6 kg lâchée d'une hauteur de 1 m.



**Colis de transport de déchets solides (type A)**



Emballage de transport de nitrate d'uranyle (type IP-2)



Colis ELUMATIC de type A (générateur de technétium)

### • Colis de type B

Ces colis sont conçus pour une activité totale transportée élevée et concernent le transport des combustibles usés, de plutonium, des combustibles MOX, des résidus de retraitement vitrifiés. Ils doivent répondre aux exigences suivantes :

- résistance à des chocs à 50 km/h (chute de 9 m) sur surface indéformable, puis
- résistance à une chute sur poinçon d'une hauteur de 1 m, puis
- tenue à un feu de 800°C pendant 30 minutes
- enfin, résistance à l'immersion jusqu'à 200 m pour les colis les plus radioactifs.

Ils doivent être agréés par l'autorité compétente du pays où ils ont été conçus. On distingue deux modèles de colis [colis de (type B(U) ou colis de B(M)] selon qu'ils sont bénéficient d'un agrément unilatéral ou multilatéral. Ces agréments sont valables 5 ans et de ce fait soumis une réévaluation périodique.

**Prototypage d'emballage soumis à une épreuve de chute libre ➔**



### • Colis fissiles

Les colis contenant des matières fissiles (qui selon le cas, peuvent être du type industriel, du type A ou du type B) doivent répondre à des prescriptions supplémentaires qui sont imposées par le nombre maximum de colis admis dans le chargement et être soumis à des épreuves d'immersion de 15 m pendant 8 heures. Ils sont en outre soumis à l'agrément de chaque pays traversé.



Emballage de transport de combustible usé REP en cours de chargement sur le Sygn



Emballage de transport de crayons combustibles irradiés à des fins de R&amp;D (Type B)



Emballage de transport de résidus vitrifiés de type B(M) en cours de chargement sur un bateau spécialisé.



Emballage de transport de type B(U) pour déchets irradiants

- **Colis transportant de l'hexafluorure d'uranium (UF6)**

Les emballages transportant de l'hexafluorure d'uranium (UF6) doivent répondre à des exigences spécifiques (résistance à la chute et à l'empilement, tenue au feu de 800 °C pendant 50 min, résistance à l'immersion, étanchéité....).

Ils doivent de plus obtenir un agrément de l'autorité compétente.

**Cylindre 48Y destiné au transport d'UF6 →**



- **Colis de type C**

Les colis de type C sont destinés à transporter des substances hautement radioactives par voie aérienne.

Ce type de colis a été mis en place par l'AIEA en 1997 suite aux travaux communs menés par la France et la Grande Bretagne concernant l'accidentologie aérienne.

Les épreuves requises sont sensiblement plus sévères que celles requises pour les emballages de transport terrestre (durée du test au feu portée à 1 heure, immersion de 200 m pendant 1 h, résistance au choc à une vitesse de 90 m/s).

Il n'existe en France aucun agrément de colis de type C à usage civil.

**Prototype d'emballage soumis à une épreuve de chute sur poinçon →**



Pour démontrer la conformité à ces différentes épreuves, les équipes en charge de la conception des emballages peuvent procéder soit à des essais grandeur nature ou à l'aide de maquettes représentatives, soit au moyen de codes de calcul numériques qualifiés ou par une combinaison des deux.

## 6. PRÉVENTION, CONTRÔLES, TRAÇABILITÉ

La prévention et le contrôle dans les transports de matières radioactives consiste à mettre en œuvre les actions suivantes pour préparer un transport :

- identifier et classer la matière
- choisir l'emballage
- choisir le transporteur
- effectuer les contrôles de radioprotection (débit de dose, contamination surfacique)
- apposer les étiquettes sur le colis

- contrôler la conformité du transport
- contrôler la validité des certificats d'agrément (transporteur, emballage)

La traçabilité est un concept fondamental appliqué aux transports des matières nucléaires, elle impose :

- une déclaration officielle de transport et l'élaboration d'un bon de transport
- un étiquetage réglementaire des colis et des véhicules
- le suivi en temps réel des opérations par le transporteur et par les organismes en appui des pouvoirs publics tels que l'Echelon Opérationnel des Transports (EOT)

***En toutes circonstances, c'est l'expéditeur qui reste responsable des colis qu'il confie à un transporteur***

## 7. LE TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES : UN MÉTIER

Les métiers du transport s'organisent autour de deux pôles – les métiers liés à la conception du colis, leur agrément quand il est exigé, la fabrication, l'entretien et la maintenance des emballages, la préparation du colis et les contrôles – les métiers liés à la logistique du transport : prise en charge du colis, chargement, acheminement, entreposage éventuel, livraison.

Toutes ces activités sont soumises à un système d'assurance de la qualité avec des entreprises agréées et du personnel qualifié, possédant les formations requises.

L'entreprise de transport est tenue de fournir à ses chauffeurs un programme de protection radiologique. Les chauffeurs reçoivent une formation obligatoire, sanctionnée par un examen, afin d'obtenir l'agrément nécessaire à la conduite de véhicules transportant des matières radioactives.

## 8. L'OPÉRATION DE TRANSPORT

Bien que la sûreté des transports repose sur le colis des mesures complémentaires sont imposées pour les opérations de transport.

A titre d'exemple pour le transport routier, sont obligatoires la formation des chauffeurs, l'identification des véhicules et colis (en particulier le système d'étiquetage des colis indiquant l'activité contenue, la matière contenue, un indice de transport correspondant au débit de dose à 1 m et un indice de transport spécifique aux matières fissiles, de manière à limiter le nombre de colis par expédition, la surveillance de la contamination des véhicules, l'affichage des consignes d'intervention d'urgence, des dispositions de prévention contre les incendies, la déclaration d'expédition signée par l'expéditeur, etc.

De même, un soin attentif doit être porté à l'arrimage du colis sur le véhicule de transport. Celui-ci doit être conforme à celui figurant dans la notice de l'emballage et respecter les prescriptions figurant dans le plan d'arrimage du véhicule de transport. Pour les transports à danger potentiel élevé, un avis préalable doit être adressé à la Sécurité civile au moins trois jours avant le transport.

## 9. LA PROTECTION PHYSIQUE

Pour le transport de matières classées matières nucléaires (principalement le plutonium, l'uranium enrichi, les éléments combustibles neufs et irradiés) des mesures complémentaires doivent être prises au titre de la protection physique contre les actes de malveillance. Le transport de ces matières est soumis à un règlement propre à chaque pays.

La responsabilité incombe au transporteur qui doit être agréé par l'autorité compétente. La mission de gestion et de suivi en temps réel de ces transports est assurée en France par un centre opérationnel (l'EOT) implanté à l'RSN, qui donne au transporteur toutes instructions d'ordre technique ou opérationnelle pour les conditions de transport. Les transports les plus sensibles sont effectués au moyen de véhicules blindés disposant de moyens d'autoprotection, empruntant des itinéraires agréés sous escorte de la gendarmerie.

## 10. L'INTERVENTION EN CAS D'ACIDENT

Les transports ayant lieu dans le domaine public tout événement anormal peut avoir des conséquences immédiates. Même pour des conséquences négligeables des contrôles des individus, des évacuations, des opérations de décontamination peuvent s'avérer nécessaires. Afin d'assurer dans les conditions optimales ces interventions des plans d'urgence ont été développés, lesquels sont soumis à des exercices de crise périodiquement :

- au **niveau des pouvoirs publics** des plans d'intervention ont été développés (**plan ORSEC-TMR**). Ces plans définissent des critères et des actions simples permettant aux premiers intervenants (SDIS et forces de l'ordre notamment), à partir des constats faits sur les lieux de l'accident, d'engager de façon réflexe des premières actions de protection des populations. La mise en œuvre de ces plans est coordonnée par le préfet qui dispose des 22 cellules mobiles d'intervention radiologiques (CMIR) sur le territoire, d'un centre technique de crise (CTC) à l'IRSN ainsi que des équipes d'intervention du CEA disposées sur tout le territoire.
- au **niveau des expéditeurs et des transporteurs**, qui sont directement impliqués, des Plans d'urgence Transport (**PU-TMR**) ont été élaborés dans le but de définir les dispositions immédiates devant être prises pour faire face à une situation accidentelle de transport, et de mettre à la disposition des pouvoirs publics les informations nécessaires pour éviter ou limiter les conséquences d'un tel événement.

L'organisation nationale de crise en cas d'accident TMR s'inscrit dans le schéma général d'organisation et d'interactions entre les différents acteurs impliqués en cas d'urgence nucléaire (voir [fiche GAENA N°18](#)).

## 11. L'EXPÉRIENCE ACQUISE

En cinquante ans d'activité de transport des matières radioactives il n'y a eu dans le monde aucun cas de décès ou de lésion attribuable à la radioactivité de la matière. On observe quelques événements anormaux par an qui concernent principalement des aspects organisationnels (non-respect de la réglementation, défauts d'arrimage, disparitions ou vols de colis, dépassements des niveaux de contamination surfacique). Ils s'appliquent, pour la plupart, à de petits colis tels que les colis exemptés et les colis A pour lesquels le risque est négligeable.

Les doses moyennes annuelles reçues par le personnel intervenant dans le transport sont très inférieures aux limites réglementaires. On notera cependant l'irradiation anormale (10 mSv) subie par un travailleur à l'aéroport de Roissy (2001), lors d'un transit d'un irradiateur suédois contenant des pastilles d'iridium d'une activité totale de 366 TBq en cours d'expédition vers les Etats Unis. Le colis, de type B, était incorrectement conditionné.

Les accidents de trafic qui se sont produits ces trente dernières années bien que spectaculaires n'ont conduit à aucune conséquence radiologique. Les accidents les plus notables sont :

- **Navfrage du cargo Mont-Louis** transportant des conteneurs d'hexafluorure d'uranium près des côtes belges. Tous les conteneurs ont été récupérés. Des défauts d'étanchéité ont été détectés sur quelques conteneurs, entraînant la dilution dans la mer de quelques kilogrammes d'hexafluorure d'uranium sans conséquence notable sur le public ni sur l'environnement.
- **Accident d'un camion** transportant un colis contenant des combustibles irradiés. La remorque a été déportée dans le fossé ; le colis a basculé et s'est enlisé partiellement dans le sol très meuble du bas-côté. Le colis a été récupéré intact après une trentaine d'heures. La chute n'a pas affecté l'étanchéité du colis
- **Accident maritime du navire Carla** au large des Açores en novembre 1997 qui a conduit à la disparition en mer de 3 colis contenant des sources fortement radioactives. Ces sources (des irradiateurs), fabriquées en France, étaient destinées à un hôpital de Boston (Etats-Unis).
- **Accident routier sur la nationale 4** en avril 2007 d'une camionnette transportant un colis de type B chargé d'une source de césium de forte activité (73 TBq) qui a subi une forte collision, suivie d'un incendie de forte intensité. Le colis a été dégradé sans aucune fuite radioactive. Le chauffeur de la camionnette et celui du poids lourd sont décédés.

Une banque de données internationale concernant les événements anormaux (EVTRAM) ainsi qu'une échelle de gravité INES, comprenant 7 niveaux de gravité adaptée au cas des transports, ont été mises en place par l'AIEA. Chaque pays a obligation de rendre compte à l'AIEA de tout événement anormal, classé suivant son niveau de gravité.



En France, depuis 1980, on note une dizaine d'incidents de niveau 1 par an. Aucun événement de niveau supérieur à 1 n'a été déclaré à l'exception d'un événement classé niveau 3 (événement de Roissy cité plus haut). Ces événements sont répertoriés par l'IRSN.

Tout événement anormal fait l'objet d'une expertise ayant pour objectif d'en tirer les enseignements et de proposer éventuellement des mesures correctives, tant au niveau du colis que des conditions de transport et des conditions d'intervention. On peut citer en particulier les mesures prises à la suite du naufrage du Mont-Louis qui a conduit l'AIEA, à l'initiative de la France, à adopter en 1996 une réglementation spécifique au transport d'UF6.

## 12. CONCLUSION

Depuis 50 ans qu'on transporte des matières radioactives on n'a relevé aucun cas de décès ou de lésion, ni d'atteinte à l'environnement du à la radioactivité des matières transportées. Le niveau de sûreté atteint dans le transport de ces matières résulte de l'application, dès le développement de ces transports, d'exigences de sûreté contraignantes, précises et acceptées par tous les pays.

L'AIEA a joué un rôle éminent dans l'obtention de ce résultat en élaborant une réglementation dont la première version date de 1961, et qui a été mise à jour tous les 10 ans pour tenir compte de l'expérience, des nouveaux besoins, des développements technologiques. Ces mises à jour sont le résultat de programmes de recherche, d'études, du retour d'expérience de dizaines d'experts d'états membres qui élaborent les nouvelles recommandations dans le cadre de programmes de recherche coordonnés, de réunions de consultants, de comités techniques organisés à l'initiative de l'AIEA.

## 13. RÉFÉRENCES

- [1] – IAEA Safety Series n° 6 : Safety Standard Series, édition de 2018
- [2] – Revue Contrôle de l'ASN N° 193, mars 2012
- [3] – Revue « Clefs du CEA » N° 25, 1992 article de C. RINGOT
- [4] – Publications SFEN, articles de C. RINGOT et B. LENAIL
- [5] – Techniques de l'Ingénieur, articles de J.C. NIEL et M. HARTENSTEIN
- [6] – Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2017
- [7] – Rapport ANCCLI : Sûreté des transports de substances radioactives  
<https://www.anccli.org/wp-content/uploads/2014/06/IRSN-Transport.pdf>