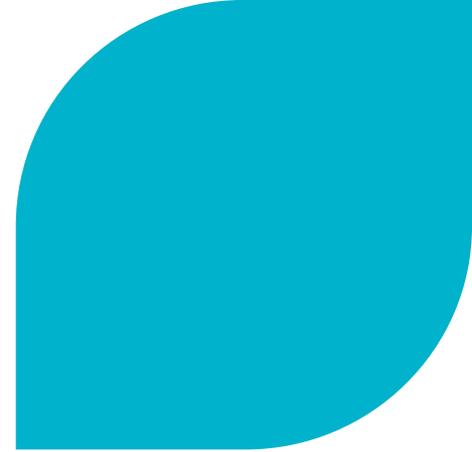


# Le transport des matières radioactives et la radioprotection associée



***François Richermoz***

***PCR***

***TN International / B.U. Logistique / B.G. Aval / Areva NC***



**AREVA**

l'avenir pour énergie



- ▶ Les différents règlements
- ▶ Seuils d'exemption pour la classe 7
- ▶  $A_1$ ,  $A_2$
- ▶ Les différents types de colis
- ▶ Matières LSA, objets SCO
- ▶ Limites de contamination et d'intensité de rayonnement des colis
- ▶ Étiquetage des colis
- ▶ Limites de contamination et d'intensité de rayonnement des véhicules
- ▶ PPR / programme protection radiologique

# Les différents règlements



Accord européen relatif au transport international de marchandises dangereuses par route

**ADR**



Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses

**RID**



Code maritime international des marchandises dangereuses

**Code IMDG**

[Code INF : pour les navires (Recueil de règles pratiques pour la sécurité du transport de combustibles irradiés, de plutonium et de déchets hautement radioactifs en colis à bord des navires)]



Instructions techniques de l'OACI pour la sécurité du transport aérien des matières dangereuses

**IT - OACI**

[+ Réglementation pour le transport des marchandises dangereuses IATA  
**RTMD-IATA**]



**Classe 7 ?**



**Combien de « A<sub>2</sub> » ?**

# Classe 7, ou hors classe 7 ?

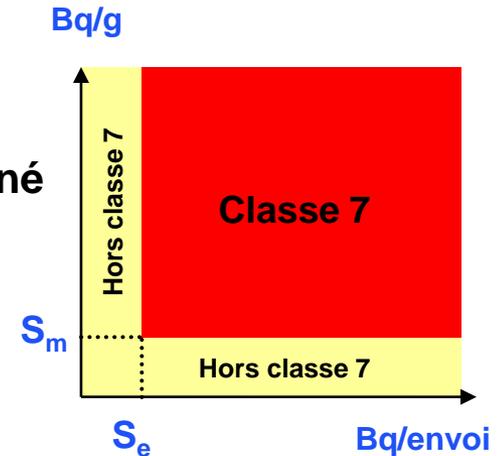
## Les seuils d'exemption

### ► Il existe 9 classes de marchandises dangereuses

- ◆ la classe 7 : les matières radioactives

### ► Le classement en classe 7 nécessite le dépassement simultané des deux seuils suivants :

- ◆ un seuil d'activité massique  $S_m$  (exprimé en Bq/g), et
- ◆ un seuil d'activité par envoi  $S_e$  (exprimé en Bq/envoi)
- ◆ Ces seuils varient en fonction des radioéléments présents



### ► Les objets non radioactifs qui présentent une contamination superficielle inférieure aux seuils ci-dessous ne sont pas des objets de la Classe 7 :

- ◆ 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> en  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  de faible toxicité (fixée et non fixée)
- ◆ 0,04 Bq/cm<sup>2</sup>  $\alpha$  forte toxicité (fixée et non fixée)

*$\alpha$  de faible toxicité = uranium naturel, appauvri, non irradié; et thorium naturel non irradié*

## Exemples de seuils d'exemption pour quelques radioéléments

Radionucléide contenu dans la matière transportée	Activité massique pour les matières exemptées ( $S_m$ ) (Bq/g)	Limite d'activité pour un envoi exempté ( $S_e$ ) (Bq/envoi)
américium Am-241	1	10 000
carbone C-14	10 000	10 000 000
californium Cf-252	10	10 000
curium Cm-242	100	100 000
cobalt Co-60	10	100 000
césium Cs-137	10	10 000
iode I-131	100	1 000 000
iridium Ir-192	10	10 000
molybdène Mo-99	100	1 000 000
sodium Na-24	10	100 000
plutonium Pu-239	1	10 000
radium Ra-226	10	10 000
tritium T(H-3)	1 000 000	1 000 000 000
uranium U(nat)	1	1 000

Si valeurs par radionucléide non connues : si seulement bêta et gamma :  $10 / 10^4$  ; si aucune donnée :  $0,1 / 10^3$



# Les matières radioactives « sous forme spéciale »

- ▶ Les matières radioactives « sous **forme spéciale** » sont des matières radioactives non dispersables
- ▶ Elles sont conçues pour **résister à des épreuves accidentelles** (choc, percussion, pliage, incendie, lixiviation)
- ▶ Elles sont soumises à **agrément**. Elles ne peuvent être classées « matières radioactives sous forme spéciale » qu'à la condition que leur agrément soit **en cours de validité**.
- ▶ La dangerosité des « matières radioactives sous forme spéciale » se quantifie par comparaison de leur activité aux limites «  $A_1$  » des radionucléides indiquées dans les règlements.
- ▶ *Exemples de formes spéciales : sources d'appareils de gammagraphie*



# Quantification de la dangerosité des matières radioactives : $A_1$ et $A_2$



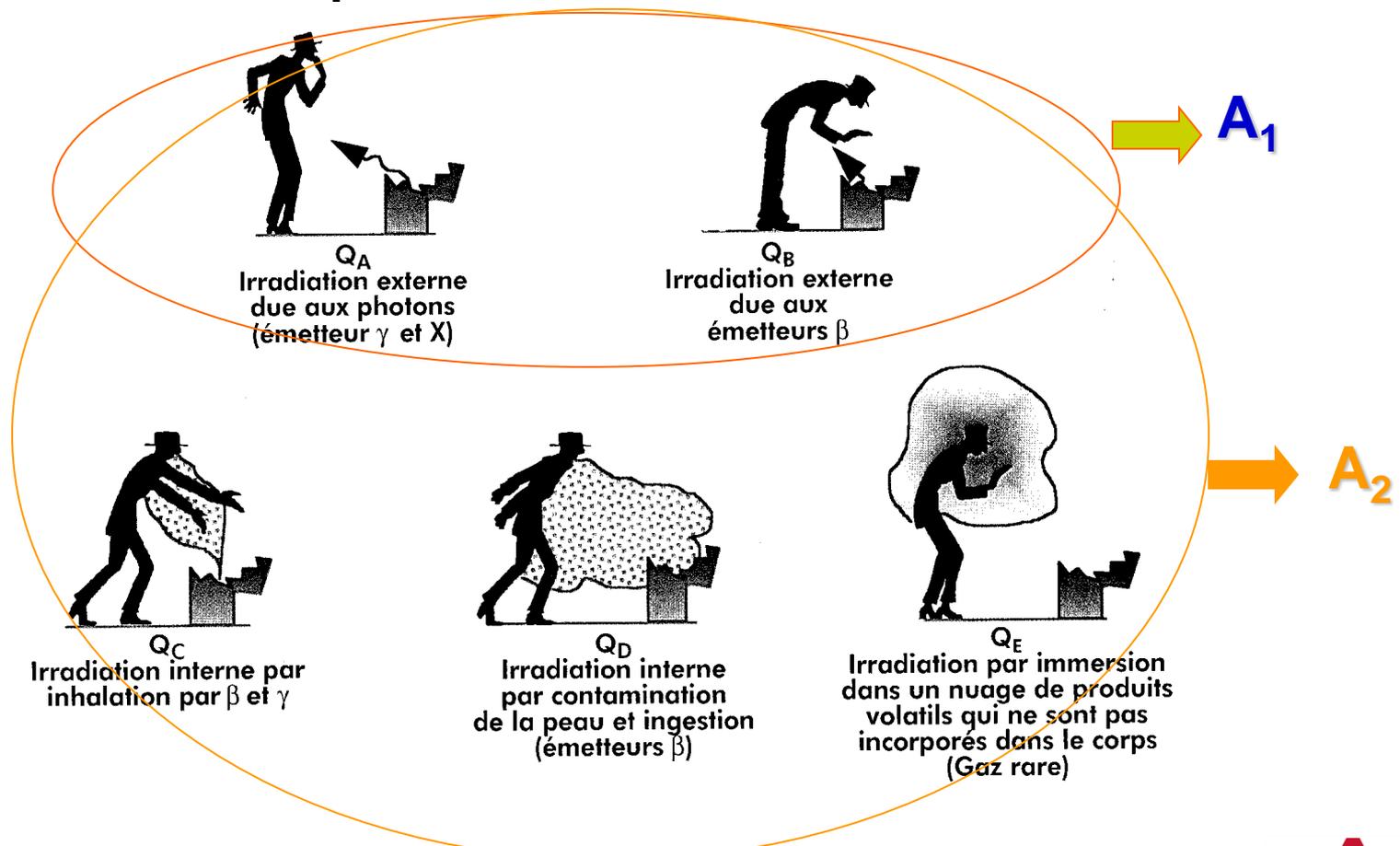
- ▶ «  $A_1$  » est l'activité maximale
  - ◆ de matières radioactives « sous forme spéciale »
  - ◆ transportables dans un colis de Type A (colis qui ne résiste pas à un accident sévère)
  
- ▶ «  $A_2$  » est l'activité maximale
  - ◆ de matières radioactives « normales » (= pas « sous forme spéciale »)
  - ◆ transportables dans un colis de Type A
  
- ▶ Les valeurs de «  $A_1$  » et de «  $A_2$  »
  - ◆ diffèrent d'un radioélément à l'autre en fonction de sa dangerosité
  
- ▶ Le nombre de «  $A_1$  » ou de «  $A_2$  »
  - ◆ présents dans un matériau ou un colis
  - ◆ permet de déterminer le type de colis nécessaire : excepté, industriel, type A, B ou C

# Comment a-t-on fait pour définir un $A_2$ ?

- ▶ A la suite d'un accident, un individu est supposé rester, pendant **30 minutes**, à **1 mètre** d'un **colis de type A** détruit
  - ◆ L'activité maximale du radioélément contenu doit être telle que :
    - La dose effective reçue par cet individu doit être **< 50 mSv**
    - La dose équivalente reçue :
      - par un organe individuel, y compris la peau, doit être **< 500 mSv**
      - par le cristallin, doit être **< 150 mSv**
  - ◆ Toutes les voies d'atteinte possibles sont prises en compte
- ▶ ➔ l'activité maximale autorisée dans ce colis de type A est alors appelée  $A_2$  (ou  $A_1$ )

# Quantification du danger en transport

- Prise en compte des différents types d'exposition dans le règlement de transport



$A_2$  : cas général  $A_1$  : matière sous «forme spéciale» (indispensable, ou capsule scellée)

# Exemples de valeurs $A_1$ et $A_2$ extraites des règlements pour quelques radionucléides



Radionucléide	$1 A_1 =$ (TBq)	$1 A_2 =$ (TBq)	Activité spécifique du radionucléide (en TBq par g de ce radionucléide)
américium Am-241	10	0,001	0,1273
carbone C-14	40	3	0,1652
californium Cf-252	0,1	0,003	19,94
curium Cm-242	40	0,01	122,8
cobalt Co-60	0,4	0,4	41,91
césium Cs-137	2	0,6	3,225
iode I-131	3	0,7	4 593
iridium Ir-192	1	0,6	340,4
molybdène Mo-99	1	0,6	17 770
sodium Na-24	0,2	0,2	322 500
plutonium Pu-239	10	0,001	0,002305
radium Ra-226	0,2	0,003	0,03666
tritium T(H-3)	40	40	357,8
uranium U(nat)	illimité	illimité	2,60E-08

Si valeurs par radionucléide non connues : si seulement bêta et gamma : 0,1 / 0,02 ; si aucune donnée :  $10^{-3}$  /  $9.10^{-5}$



# Le choix du colis

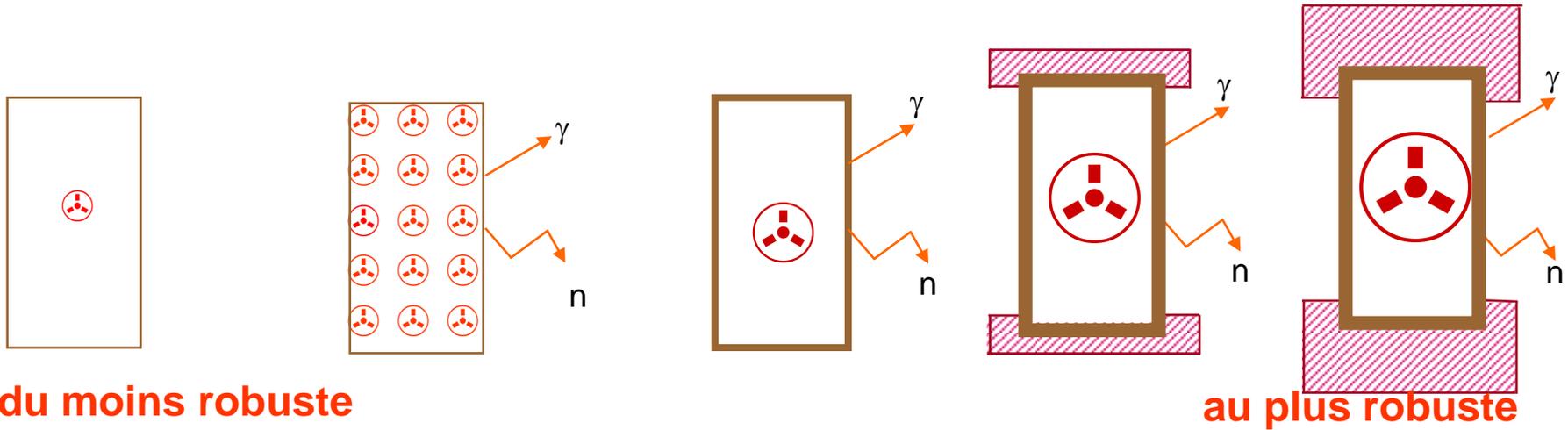
# Types de colis / contenus / conditions de transport

	Contenu	Conditions de routine	Conditions normales (CNT)	Conditions accidentelles (CAT)
<b>Colis exceptés</b>	$\leq 1/1000^{\text{ème}}$ de $A_1$ ou $A_2$	oui	Non applicable	Non applicable
<b>Colis industriels IP-1</b>	LSA-I, SCO-I	oui	Non applicable	Non applicable
<b>Colis industriels IP-2, IP-3</b>	LSA-I, II, III, SCO-II	oui	oui	Non applicable
<b>Colis de type A</b>	$\leq A_1$ ou $A_2$	oui	oui	Non applicable
<b>Colis de types B(U), B(M)</b>	$> A_1$ ou $A_2$	oui	oui	oui
<b>Colis de types C</b>	$> 3000A_1$ ou $3000A_2$	oui	oui	oui
<b>Colis de matière fissile : IF (pour IP-2 ou IP-3), AF, B(U)F, B(M)F, CF</b>	<b>Matière fissile</b>	oui*	oui*	oui*

Colis type C : n'est requis qu'en transport aérien - non nécessaire si la matière est qualifiée LDM

\* : épreuves à l'issue desquelles le maintien de la sous-criticité est vérifié (et en particulier pour les Conditions Accidentelles de Transport que doivent subir les IF et les AF )

# Représentation schématique des différents types de colis



du moins robuste

au plus robuste



Excepté	Industriels	Type A	Type B	Type C
Très faible activité	IP-1, IP-2, IP-3 Activité répartie ou diluée (LSA) ou objets contaminés superficiellement (SCO)	Moyenne activité	Forte ou très forte activité	Transport aérien de très forte activité

# Les différentes conditions de transport prises en compte pour les crash-tests

## ▶ Conditions de transport de routine

- ◆ sollicitations ordinaires (vibrations, arrimage, manutention): prescriptions générales applicables à tous les colis

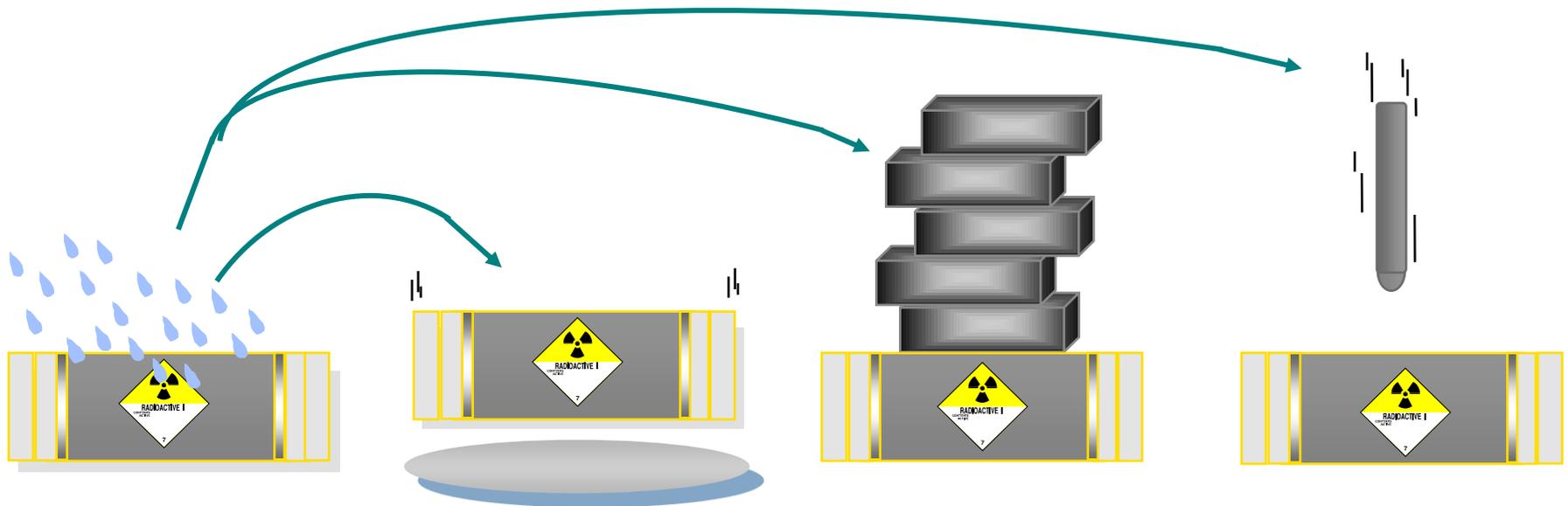
## ▶ Conditions normales de transport (CNT)

- ◆ sollicitations consécutives à des incidents considérés comme fréquents en transport

## ▶ Conditions accidentelles de transport (CAT)

- ◆ prise en compte d'accidents sévères

# Epreuves et critères des «conditions normales de transport» (CNT)



Aspersion d'eau pendant 1 heure

Chute libre de 0,3 à 1,2 m sur une surface indéformable

Gerbage  
Max de {(5 fois la masse du colis) ou (13 kPa x l'aire de projection horizontale du colis)}

Pénétration d'une barre de 6 kg lâchée d'une hauteur de 1 m

## Critères :

- pas de perte ou de dispersion de matière
- augmentation du débit de dose < 20 %

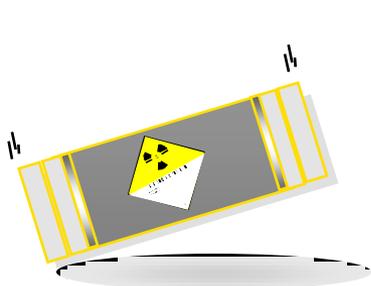
Si IP-2 : pas d'aspersion ni de chute de barre ;

Si colis type A pour liquide ou gaz : chute libre de 9m, et barre de 6 kg lâchée de 1,7 m

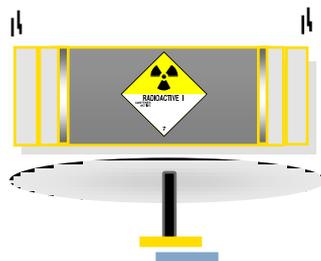
Si citerne ou grand conteneur : on n'applique que « leurs règles applicables » + les critères « classe 7 » ci-dessus

# Épreuves simulant les « conditions accidentelles de transport » (CAT) en transport de surface

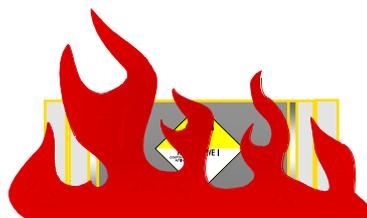
Série de 3 tests en séquence pour un même colis



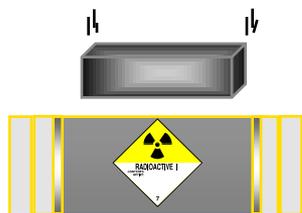
Chute libre de 9 m sur une surface indéformable



Perforation d'une hauteur de 1 m

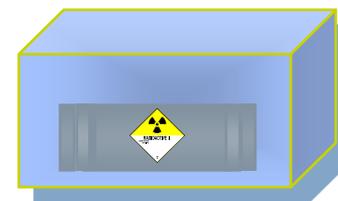


Feu à 800°C, 30 mn



chute d'une plaque en acier doux de 500 kg, d'une hauteur de 9 m, sur le colis posé sur une surface indéformable (si colis <500kg,  $d < 1$ , fissile ou  $> 1000A_2$ )

Test sur un colis intact



Immersion à 15 m ; pour les colis de type B contenant plus de 100 000  $A_2$  : immersion à 200 m. Critère : pas de rupture de l'enceinte de confinement

**Critères pour tous les colis de type B :**

- relâchement d'activité  $< A_1$  ou  $A_2$  en 1 semaine
- débit d'équivalent de dose  $< 10$  mSv/h à 1 m

**Critère pour colis de matières fissiles : rester sous-critique**

... pour les épreuves « terrestres » et l'immersion à 15 m ; et rester étanche à 90 cm d'eau



**LSA, SCO**



**Numéros ONU**



# Matières de faible activité spécifique (LSA)

- ▶ **LSA-I** : minerai d'U, Unat, matières ayant un  $A_2$  illimité et celles dont l'activité spécifique ne dépasse pas 30 fois les seuils d'exemption  $S_m$ 
  - ◆ les matières fissiles ne peuvent pas être classées LSA-I (on utilise alors LSA-II), (seules les matières fissiles exceptées sont autorisées)
- ▶ **LSA-II** : matières ayant une activité spécifique  $\leq a$  :
  - ◆ Eau contenant du tritium avec une activité  $\leq 0,8$  TBq/litre
  - ◆ Autres liquides avec une activité  $\leq 10^{-5} A_2/g$
  - ◆ → Solides ou gaz avec une activité  $\leq 10^{-4} A_2/g$ ,
- ▶ **LSA-III** : matières solides (poudres exclues) ayant une activité spécifique  $\leq a$  :
  - ◆  $20 \cdot 10^{-4} A_2/g$
  - ◆ la lixiviation dans l'eau pendant 7 jours du contenu d'un colis ne doit pas conduire à relâcher plus de  $0,1 A_2$  dans l'eau (ce test conduit à ne pas autoriser les matières solubles dans l'eau à être classées LSA-III)
- ▶ Exemples de LSA :
  - ◆ concentrés miniers d'uranium, UF<sub>6</sub>, déchets conditionnés pour l'ANDRA, nitrate d'uranyle

# Objets contaminés superficiellement (SCO)

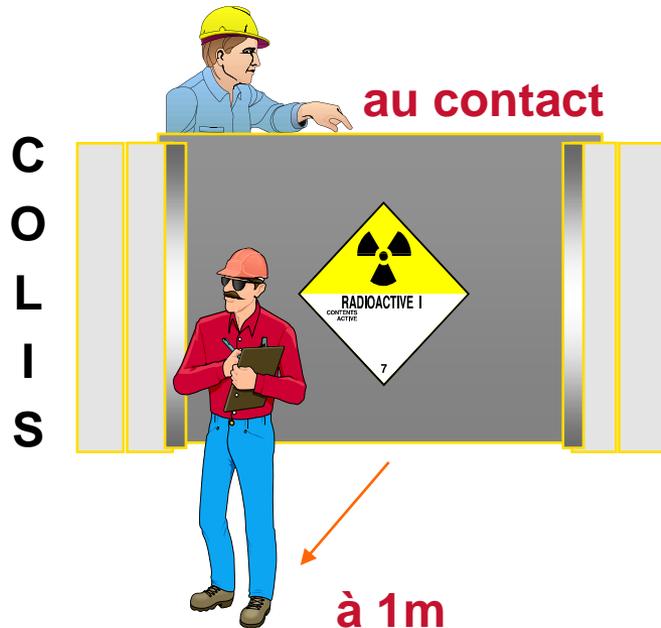
objets non radioactifs ayant une contamination surfacique limitée aux valeurs suivantes (Bq/cm <sup>2</sup> )	SCO-I		SCO-II	
	(α de faible toxicité, β, γ)	(autres α)	(α de faible toxicité, β, γ)	(autres α)
contamination non fixée des surfaces accessibles	4	0,4	400	40
contamination fixée des surfaces accessibles	4.10 <sup>4</sup>	4.10 <sup>3</sup>	80.10 <sup>4</sup>	80.10 <sup>3</sup>
contamination fixée et non fixée des surfaces inaccessibles	4.10 <sup>4</sup>	4.10 <sup>3</sup>	80.10 <sup>4</sup>	80.10 <sup>3</sup>

# Numéros ONU et désignations officielles de transport de la classe 7

- UN2908 Matières radioactives, emballages vides comme colis exceptés
- UN2909 Matières radioactives, objets manufacturés en thorium naturel, ou en uranium appauvri, ou en uranium naturel comme colis exceptés
- UN2910 Matières radioactives, quantités limitées en colis exceptés
- UN2911 Matières radioactives, appareils ou objets en colis exceptés
- UN2912 Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-I)
- UN2913 Matières radioactives, objets contaminés superficiellement (SCO-I ou SCO-II)
- UN2915 Matières radioactives en colis de type A
- UN2916 Matières radioactives en colis de type B(U)
- UN2917 Matières radioactives en colis de type B(M)
- UN2919 Matières radioactives transportées sous arrangement spécial
- UN2977 Matières radioactives, hexafluorure d'uranium, fissiles
- UN2978 Matières radioactives, hexafluorure d'uranium,
- UN3321 Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-II)
- UN3322 Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-III)
- UN3323 Matières radioactives en colis de type C
- UN3324 Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-II), fissiles
- UN3325 Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-III), fissiles
- UN3326 Matières radioactives, objets contaminés superficiellement (SCO-I ou SCO-II), fissiles
- UN3327 Matières radioactives en colis de type A, fissiles
- UN3328 Matières radioactives en colis de type B(U), fissiles
- UN3329 Matières radioactives en colis de type B(M), fissiles
- UN3330 Matières radioactives en colis de type C, fissiles
- UN3331 Matières radioactives transportées sous arrangement spécial, fissiles
- UN3332 Matières radioactives en colis de type A, sous forme spéciale
- UN3333 Matières radioactives en colis de type A, sous forme spéciale, fissiles

- 
- Contrôles avant départ**
- 
- Étiquetage**

# Les limites d'intensité de rayonnement autour des colis en condition de transport de routine



## Intensité de rayonnement au contact

Colis excepté	$\leq 0,005 \text{ mSv/h}$ ( $5\mu\text{Sv/h}$ )
Colis - industriels - type A - type B - fissiles	$\leq 2 \text{ mSv/h}$ (1)

## Intensité de rayonnement à 1 m (2)

Colis excepté	Pas de limites prescrites
Colis - industriels - type A - type B - fissiles	$\leq 0,1 \text{ mSv/h}$ (ou plutôt : $TI \leq 10$ )

Si « envoi sous utilisation exclusive » dans le document de transport :

(1) :  $< 10 \text{ mSv/h}$  au contact, si pas de rupture de charge, colis fixés et « non accessibles »

(2) : pas de limite à 1 m (le TI peut être  $> 10$ )

# Les limites de contamination externe des colis, en condition de transport de routine

La contamination non fixée en surface des colis est à maintenir **aussi bas que raisonnablement possible**

Limites applicables à toute aire de 300 cm<sup>2</sup> (valeur moyenne):

	Emetteurs $\beta$ , $\gamma$ et $\alpha$ de faible toxicité	Autres émetteurs $\alpha$
Colis hors classe 7 (pour mémoire)	0,4 Bq/cm <sup>2</sup>	0,04 Bq/cm <sup>2</sup>
<b>Tous colis de la classe 7</b>	<b>4 Bq/cm<sup>2</sup></b>	<b>0,4 Bq/cm<sup>2</sup></b>

# Etiquetage des colis : les indices de transport (TI, CSI)



- ❑ **Indice de transport** (TI, « transport index ») : **un indicateur du risque d'exposition aux rayonnements en conditions de routine et CNT**

**TI = intensité de rayonnement mesuré à 1 m (en mSv/h) x 100**

(multiplié par facteur éventuel - 2,3,10 - pour conteneurs ou citernes et pour LSA ou SCO non emballé)

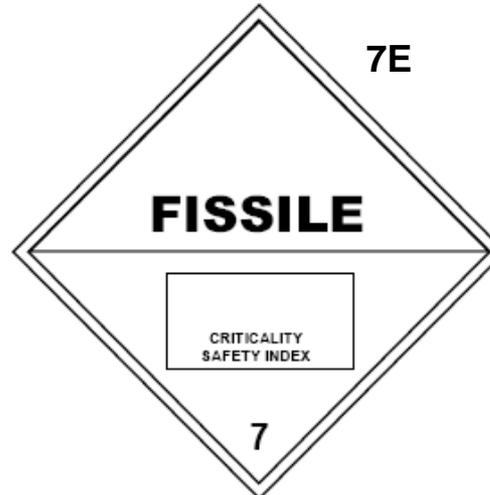
- ❑ **Indice de sûreté criticité d'un colis de matières fissiles** (CSI : « criticality safety index »)(calculé et agréé) : **un indicateur du risque de criticité en conditions de routine, CNT et CAT**

**Le CSI est indiqué dans le certificat d'agrément du modèle de colis de matières fissiles**

# Catégorie des colis / Étiquetage

TI > 1	 <p style="text-align: right;">Catégorie III-JAUNE (7C)</p>		
TI ≤ 1	 <p style="text-align: center;">Catégorie II-JAUNE (7B)</p>		
TI = 0	 <p style="text-align: center;">Catégorie I-BLANC (7A)</p>		
↑ Indice de transport (TI)	≤ 0,005 mSv/h	≤ 0,5 mSv/h	≤ 10 mSv/h
	↑ Intensité de rayonnement maximale en surface du colis ↑		

# Etiquettes de la classe 7





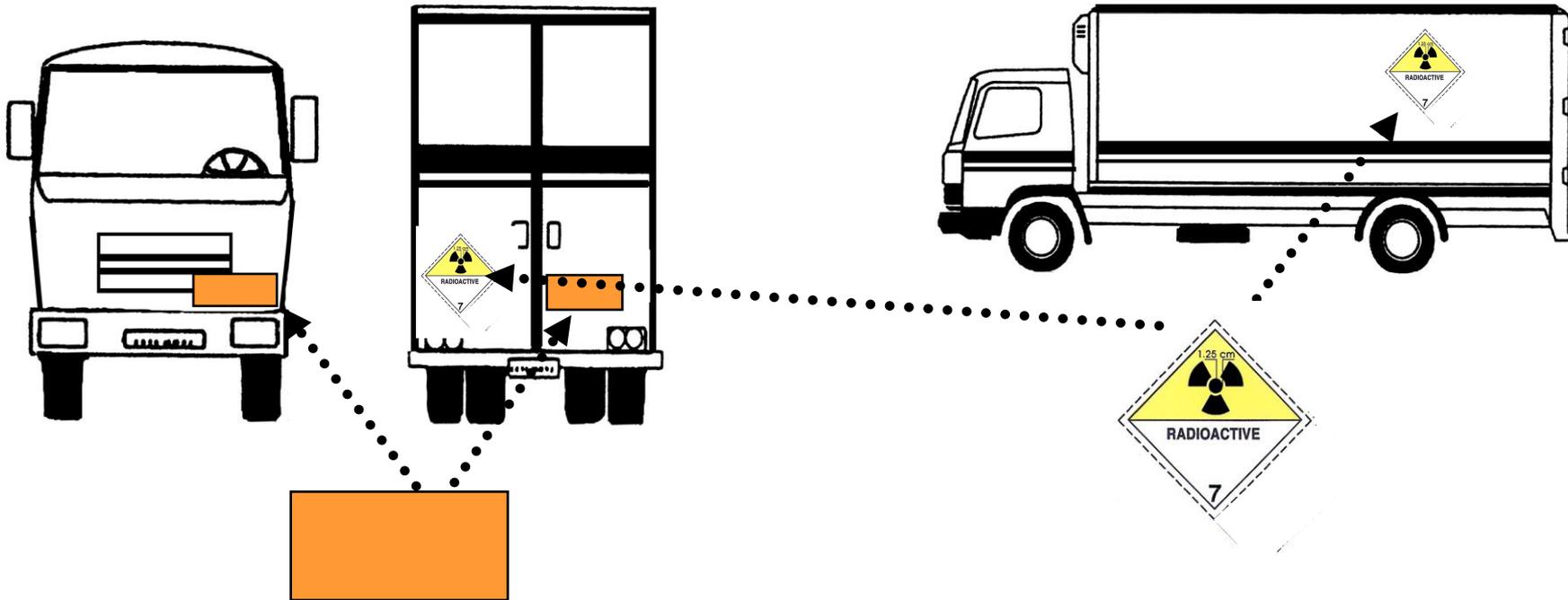
# ▶ **Contrôle des véhicules**

# Niveaux maximaux d'intensité de rayonnement et de contamination autour des véhicules, wagons et conteneurs



Type de colis transportés	Intensité de rayonnement maximal	
	Au contact	à 2 mètres
Uniquement des colis exceptés	–	–
Autres colis	2 mSv/h	0,1 mSv/h
Type de colis transportés	Niveau de contamination maximal	
	Emetteurs $\beta$ $\gamma$ et $\alpha$ de faible toxicité	Autres émetteurs $\alpha$
Présence de colis non radioactifs	0,4 Bq/cm <sup>2</sup>	0,04 Bq/cm <sup>2</sup>
Uniquement colis radioactifs	4 Bq/cm <sup>2</sup>	0,4 Bq/cm <sup>2</sup>

# Signalisation des véhicules



Panneaux oranges vierges à l'avant et à l'arrière du véhicule

(ou bien : panneaux renseignés, si transport **sous utilisation exclusive** de colis relevant tous du même n° ONU) (à l'avant et à l'arrière ou sur les côtés + vierges à l'avant et l'arrière)

Étiquettes 7D sur les deux côtés latéraux et à l'arrière du véhicule

70
3328

N.B. : aucune signalisation si le chargement ne comprend que des colis exceptés



# PPR / programme protection radiologique

# PPR / programme protection radiologique

- ▶ **Toutes les activités dans la chaîne du transport conduisant à l'exposition de personnes (travailleurs et public) doivent être régies par des Programmes de Protection Radiologique dont le but est de maîtriser l'exposition des travailleurs et du public**
  - ◆ chapitre 1.7.2 des règlements
- ▶ **Jusqu'à 1 mSv par an**
  - ◆ pas de procédure de suivi particulière
- ▶ **De 1 à 6 mSv par an**
  - ◆ évaluation des doses par la surveillance des lieux de travail ou par une surveillance individuelle
- ▶ **Au-delà de 6 mSv par an**
  - ◆ surveillance individuelle obligatoire