

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Nocivité des matières et déchets radioactifs

Méthode et indicateurs proposés par l'IRSN en réponse à l'article 1 de l'arrêté du 23 février 2017

Réunion de présentation PNGMDR - 21 septembre 2018

Plan de la présentation

La demande et son interprétation

La méthode proposée

Exemples d'application

Les réflexions à poursuivre

La demande et son interprétation

La demande : arrêté du 23/02/2017

Avis de l'Ae 20/07/2016 : « les informations fournies par le PNGMDR (caractéristiques des déchets, volumes) ne permettent pas à un lecteur non averti d'apprécier la nocivité de chaque matière et déchet et son évolution à court, moyen et long termes »

Article 1 de l'arrêté PNGMDR demande à l'IRSN :

- Un rapport sur la **méthodologie** et les **critères** envisageables pour apprécier la **nocivité des matières et déchets radioactifs**.

Il précise que ce rapport intègre des considérations sur :

- l'**évolution des caractéristiques** des matières et des déchets radioactifs à **court, moyen et long terme**,
- leur **écotoxicité**
- l'**impact associé aux modalités de gestion** envisagées dans le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

La notion de nocivité

- Nocivité : caractère de ce qui peut provoquer des effets néfastes et mauvais pour la santé ou la survie d'organismes vivants

[définitions proches pour toxicité, dangerosité]

- Dans la réglementation (code de l'environnement) : la dangerosité est la notion retenue pour la classification des déchets (HPx) alors que c'est celle de nocivité qui est utilisée pour exprimer l'exigence de réduction à mettre en œuvre lors de leur gestion
- HP5 : toxicité spécifique pour un organe cible
- HP6 : toxicité aiguë
- HP7 : cancérigène

La notion de nocivité

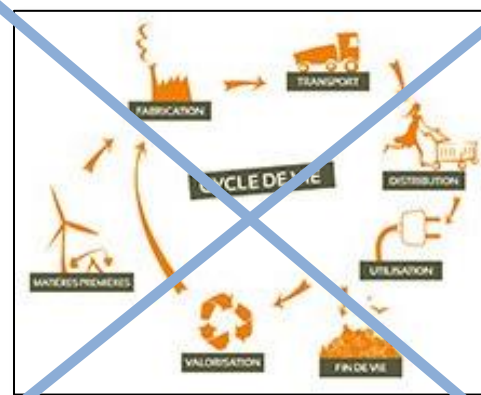
- Renvoi à des notions différentes selon qu'elle s'applique à une substance, à une situation, à un produit/service destiné à satisfaire un usage



substance



situation



produit/service



■ En réponse à l'article 1 : évaluer la nocivité d'un déchet ou d'une matière radioactive correspond à apprécier l'ampleur des effets néfastes pour la santé ou la survie d'organismes vivants susceptibles d'être causés par le déchet ou la matière considéré en tant que tel

Orientations proposées

- Rester sur une nocivité intrinsèque au déchet/matière et ne pas tenir compte de la protection apportée par les installations
- Caractériser la nocivité :
 - pour l'homme et l'environnement
 - du point de vue radiologique et chimique
- Compléter les informations associées aux familles de déchets et matières en donnant une indication du niveau de nocivité, une « étiquette »
- Permettre l'utilisation de cette indication en vue d'apprécier la gestion associée à la famille de déchets



**LISTE DES FAMILLES DE DÉCHETS
POUR LE BILAN À FIN 2015**

- Déchets : 132 familles regroupées en 6 grandes catégories
- Matières : 27 sous-catégories regroupées en 10 grandes catégories

Orientations proposées

- Aboutir à un **produit simple** en conservant du sens :
 - aller plus loin que la radiotoxicité potentielle pour couvrir différents scénarios d'exposition possibles
 - se limiter à quelques indicateurs quantitatifs associés à des situations conventionnelles
 - permettre une lecture rapide (représentation graphique)
- Faire une proposition aboutie et en tester l'applicabilité sur quelques exemples...
- ... et laisser des choix ouverts à la discussion

Eléments de cahier des charges

CATALOGUE DES FAMILLES 2015 | CHAPITRE 2 - FAMILLES DE DÉCHETS - HA

COLIS DE DÉCHETS VITRIFIÉS CSD-V (AREVA/LA HAGUE)

F1-3-01

DES DÉCHETS ISSUS DES COMBUSTIBLES USÉS

Cette famille de l'inventaire national concerne les contenants standards de déchets vitrifiés en acier inoxydable (CSD-V) dans lesquels sont conditionnées les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs, calcinés et incorporés dans une matrice de verre, dans les ateliers de vitrification R7 et T7 de La Hague.

AREVA a reçu, en 2007, l'autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire d'augmenter la teneur en actinides des déchets vitrifiés pour s'adapter à l'augmentation du taux de combustion des combustibles. Dans le scénario proposé par EDF et retenu pour établir l'inventaire de Cigéo, le traitement des combustibles usés MOX est supposé débuter vers 2030, en mélange avec des combustibles usés UOX et URE. De la même façon, les combustibles usés des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix seront traités en mélange avec des combustibles UOX. L'ensemble des colis ainsi produits est rattaché à cette famille.

En outre, les colis de déchets vitrifiés provenant du traitement des combustibles usés du CEA/Civil, du CEA/DAM ainsi que ceux du réacteur à eau lourde de Brennilis font partie de cette famille.

Cette famille comporte également des colis de déchets vitrifiés produits lors de la vidange du four de vitrification et à partir de calcinats issus des campagnes de nettoyage du calcinateur.

Note : Les volumes présentés ci-dessous sont ceux correspondant à la part française des colis de déchets vitrifiés produits sur le site de La Hague.

UN ENTREPOSAGE EN Puits VENTILÉS

Ces colis de déchets sont entreposés dans les ateliers R7 et T7 à La Hague en puits ventilés permettant leur refroidissement, ainsi que dans l'Extension des Entreposages des Verres – Sud-Est (E-EV-SE). Ils sont également entreposés dans une nouvelle extension appelée « Extension des Entreposages des Verres – La Hague (E-EV-LH) » mise en service fin 2013.



Conteneur standard de déchets vitrifiés - CSD-V

Catégorie	HA
Secteur(s) économique(s)	Électronucléaire, Recherche, Autres
Propriétaire(s) des déchets	AREVA, CEA Civil, EDF, Divers
État de production des déchets	En cours de production
État de production des colis	En cours de production
Appartenance aux différents types de déchets	Fonctionnement - Démantèlement - RCD

EN CHIFFRES

STOCK ET PRÉVISIONS

Date	Stock	Prévisions (cumulées)	
	Fin 2013	Fin 2020	Fin 2030
Volume total* (m ³)	2 407	3 318	4 740

* Volume estimé de la totalité des colis de déchets, une fois le conditionnement effectué

RADIOACTIVITÉ DE LA TOTALITÉ DES DÉCHETS

Activité calculée par l'Andra en Bq à la date du 31/12/2013

Activité totale à fin 2013 (y compris les RCD en attente de traitement)	
Total	2,1.10 ¹⁷
Part α	3,5.10 ¹⁶
Part β, γ à vie courte	2,0.10 ¹⁶
Part β, γ à vie longue	3,1.10 ¹⁷

- Catégorie : HA, MA-VL, FA-VL, FMA-VC ou TFA.
- Secteur(s) économique(s) : appartenance de la famille à un ou plusieurs secteurs économiques.
- Propriétaire(s) : le ou les propriétaires des déchets.
- État de production des déchets : Production non démarrée, en cours de production ou production terminée.
- État de production des colis : Production non démarrée, en cours de production ou production terminée.
- Appartenance aux différents types de déchets : Fonctionnement, Démantèlement, RCD.

- Stock de déchets de la famille en volume équivalent conditionné à fin 2013.
- Production cumulée à fin 2020 et à fin 2030 (en volume équivalent conditionné) correspondant aux prévisions issues des scénarios des industriels.

en m³

Activité totale des déchets de la famille, à fin 2013 (sauf mention contraire).


Eléments de cahier des charges

INVENTAIRE NATIONAL DES MATIÈRES ET DÉCHETS RADIOACTIFS

EN SAVOIR PLUS

SUR LE CONDITIONNEMENT

Traitement/conditionnement :
Les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs sont traitées par calcination (environ 400 °C), puis vitrifiées par mélange avec de la fritte de verre et chauffage dans un four à induction, à une température d'environ 1 100 °C. Le verre en fusion est coulé dans un conteneur cylindrique en acier réfractaire. Le couvercle est ensuite posé et soudé sur le conteneur.



Matrice : verre borosilicaté

Volume Industriel du colis : 180 litres

Masse moyenne du colis fini : 490 kg

Masse moyenne de déchets vitrifiés par colis : 400 kg

Échelle (maquette) d'un colis standard de déchets vitrifiés

SUR LA RADIOACTIVITÉ

Méthode de détermination :
Des analyses d'échantillons de solutions à vitrifier ont été effectuées pour un certain nombre de radionucléides, complétées pour les autres par un spectre-type établi à partir de calculs d'évolution du combustible en réacteur.

L'activité moyenne à la date de production des colis est comprise entre $2,1 \cdot 10^{10}$ et $5,1 \cdot 10^{10}$ Bq/g de colis fini.

Les principaux radionucléides contributeurs sont :

- α : ^{241}Cm , ^{241}Am
- $\beta\text{-vc}$: ^{137}Cs , ^{134}Ba , ^{90}Sr , ^{94}Y , ^{106}Ru , ^{134}Cs , ^{138}La
- $\beta\text{-vt}$: pas de radioélément β à vie longue prépondérant

Puissance thermique moyenne : environ 2 500 W/colis à la production. Cette valeur est divisée par 4 après 50 ans de décroissance et par 10 après 100 ans. L'augmentation des taux de combustion des combustibles induit une augmentation de la puissance thermique à la date de production (autour de 2,2 kW/colis).

SUR LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES POTENTIELLEMENT TOXIQUES

- Bore (B) : 17 kg/colis,
- Uranium (U) : 2 kg/colis,
- Nickel (Ni) : 12 kg/colis,
- Chrome (Cr) : 23 kg/colis,
- Cadmium (Cd) : 190 g/colis,
- Sélénium (Se) : 99 g/colis,
- Antimoine (Sb) : 25 g/colis.

23

Brève description des procédés de traitement et de conditionnement, caractéristiques du colis.

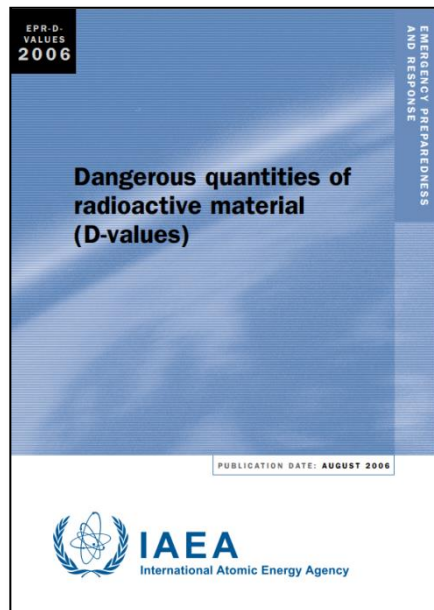
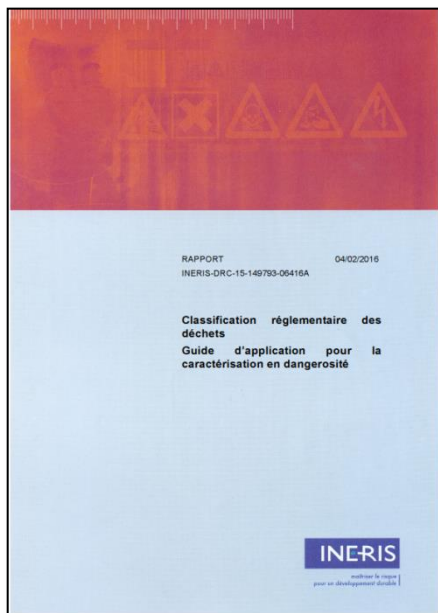
L'activité massique moyenne en Bq/g de colis fini est estimée en tenant compte des proportions des différents radioéléments présents dans le déchet.

Principaux radionucléides contribuant à l'activité massique moyenne.

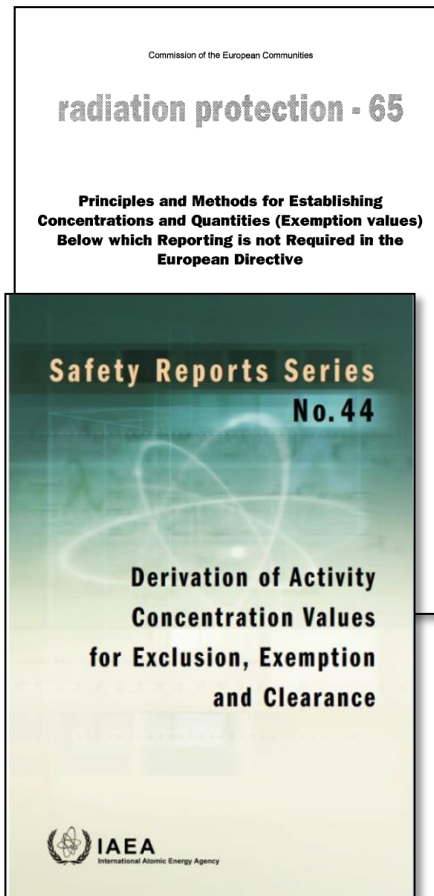
Éléments chimiques potentiellement toxiques en g ou kg de colis finis (valeurs moyennes)

Sources d'inspiration

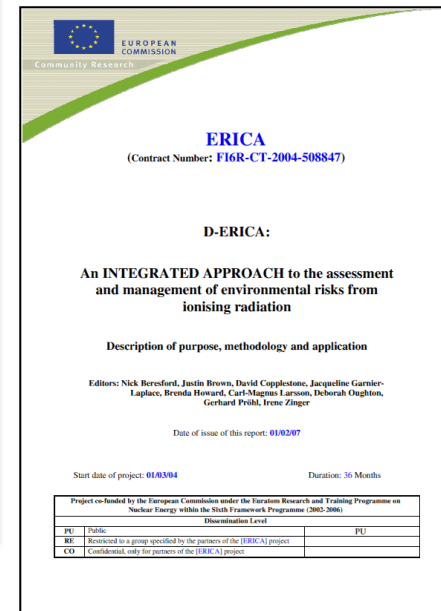
Classification des déchets dangereux dans le domaine conventionnel



Catégorisation des sources radioactives



Dérivation des valeurs d'exemption / libération



+ USEtox®

Évaluation du risque pour les écosystèmes

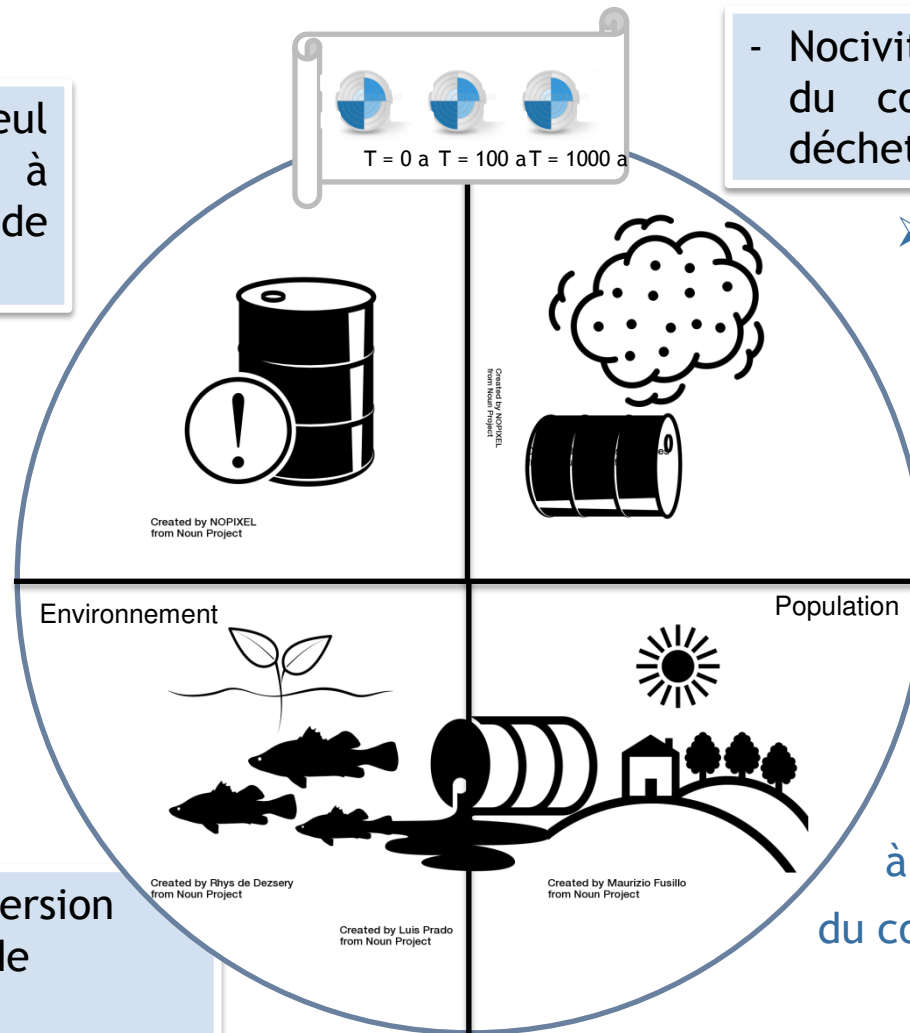
La méthode proposée

Aborder la nocivité à travers 4 axes complémentaires

- Nocivité associée au seul fait de se trouver à proximité d'un colis de déchet/matière

- Attention à porter au déchet/matière du point de vue de la radioprotection
- Voie d'atteinte principale : Exposition externe (+ radon et volatils)

- Nocivité en cas de dispersion du contenu d'un colis de déchet/matière dans l'environnement

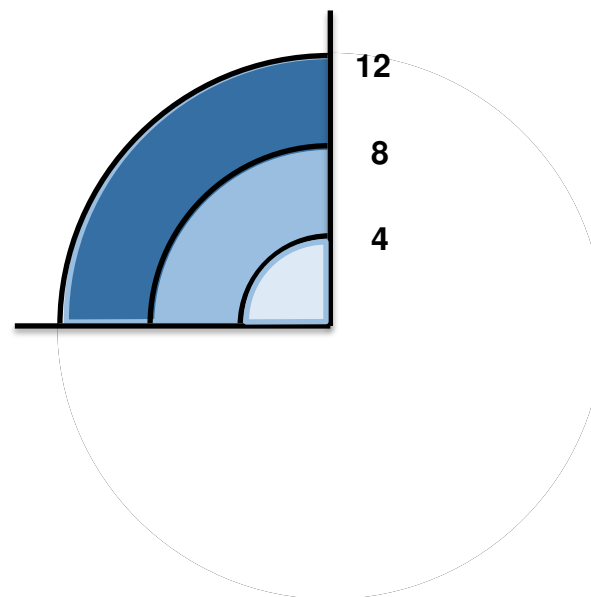


- Nocivité en cas de dispersion du contenu d'un colis de déchet/matière

- Attention à porter à la préservation de l'intégrité du colis de déchet/matière (enjeu « sûreté »)
- Voie d'atteinte principale : Inhalation
- Attention à porter à la maîtrise du devenir du colis de déchet/matière (enjeu « mémoire »)
- Voie d'atteinte principale à l'Homme : Ingestion
- Toutes voies d'atteinte pour la faune et la flore

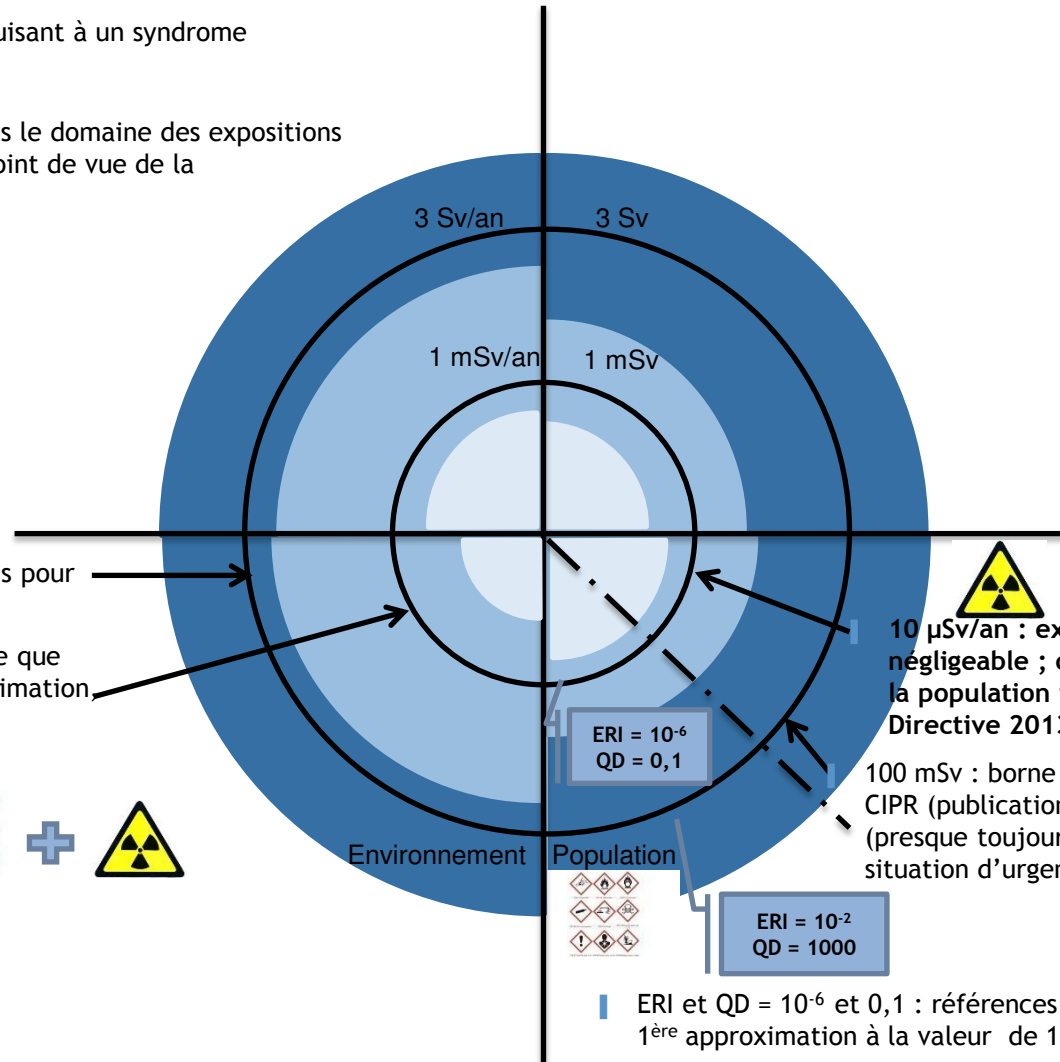
Dérivation des indicateurs et représentation de Kiviat :

- S'orienter vers des indicateurs sans dimension calculés sur la base des valeurs dosimétriques ou d'indicateur d'impact chimique
 - Un indicateur par cadran
 - Une échelle à 3 domaines



Aborder la nocivité au travers de 4 axes complémentaires : quels repères sur les axes ?

- 3 Sv : exposition conduisant à un syndrome d'irradiation aiguë
- 1 mSv/an : entrée dans le domaine des expositions « significatives » du point de vue de la radioprotection



1 : mortalité de 50% des individus pour 50% des espèces (HC50_{EC50})

10⁻³ : niveau 1000 fois plus faible que le niveau HC50 -> en 1^{ère} approximation correspond à un niveau HC5_{EC10}

10 µSv/an : exposition conduisant à un risque négligeable ; critère général d'exemption pour la population fixé par l'annexe VII de la Directive 2013-59/Euratom

100 mSv : borne haute de la plage définie par la CIPR (publication 103) -> niveau justifiant (presque toujours) des actions de protection en situation d'urgence radiologique.

ERI et QD = 10⁻⁶ et 0,1 : références considérées équivalentes en 1^{ère} approximation à la valeur de 10 µSv

Phase de test :

- **Objectif** : sélectionner quelques familles de colis donnant un aperçu de la diversité des déchets/matières (tester les bornes hautes et basses des échelles proposées)
- **Constat** : difficulté à disposer d'inventaires complets (radiologique et chimique) exploitables pour tester la méthode
 - À ce jour, les données de l'inventaire national des déchets ne sont pas suffisantes pour évaluer les indicateurs de nocivité
- **Choix retenu** : ne considérer que les substances figurant dans la liste des substances « toxiques, agressives ou réactives » définie par l'Andra (13 substances)
- **Valeur retenue pour l'axe 3** : max des indices (chimique avec seuil/sans seuil et radiologique)

INFORMATIONS SUR LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES TOXIQUES

Certains éléments (ou espèces) chimiques contenus dans les déchets, sont des toxiques chimiques : ils peuvent nuire à l'homme ou à l'environnement, notamment s'ils étaient absorbés par l'homme, par ingestion ou par inhalation. Ils sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

ÉLÉMENTS CHIMIQUES	SYMBOLES
Antimoine	Sb
Arsenic	As
Beryllium	Be
Bore	B
Cadmium	Cd
Chrome total	Cr
Chrome VI	Cr VI
Cyanures	CN libre
Mercurie	Hg
Nickel	Ni
Plomb	Pb
Sélénium	Se
Uranium	U

Les quantités indiquées dans les fiches familles ont été ramenées au colis unitaire. Il s'agit d'une valeur moyenne, exprimée en grammes par colis ; elle n'est pas représentative de chaque colis pris individuellement.

■ Liste de substances « toxiques, agressives ou réactives » définie par l'Andra (13 substances)

Exemples d'application

Familles de déchets retenues



F1-3-01
(CSD-V - Areva/La Hague)

HA



F2-4-03
(enrobés bitumineux - CEA Marcoule)

MA-VL



F6-9-01 ?
(C14 - assainissement Isotopchim)

MA-VL

Catégorie

Données fournies par ANDRA (inventaire Cigéo pour les 2 premières familles / caractérisation lors de l'assainissement du site pour la 3^{ème})

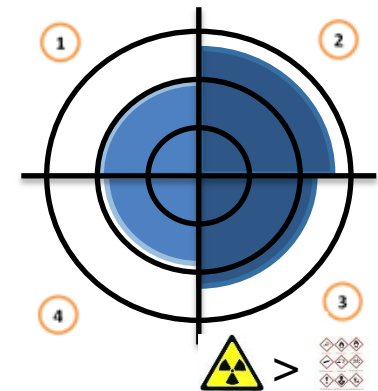
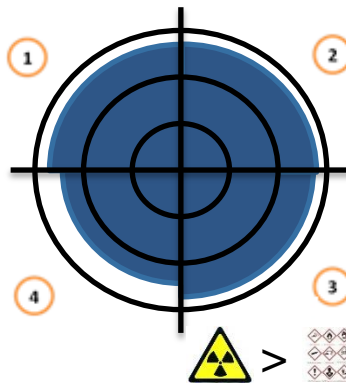
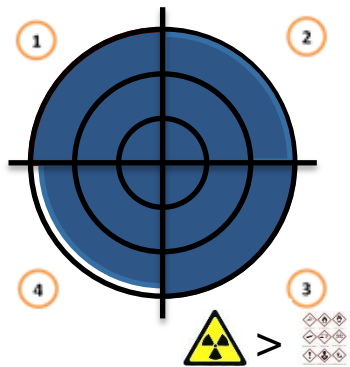
Résultats agrégés

t = 0 ans

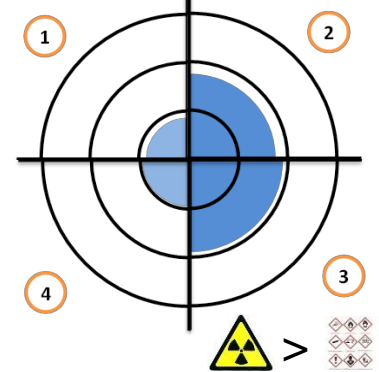
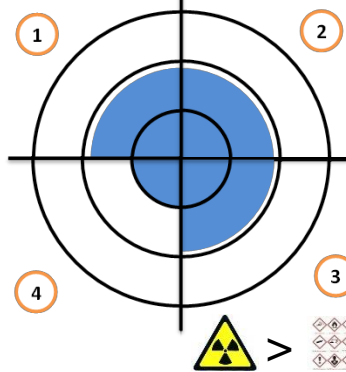
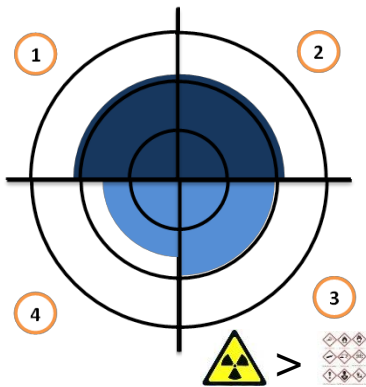
t = 100 ans

t = 1000 ans

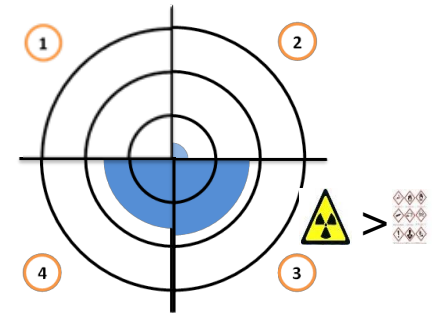
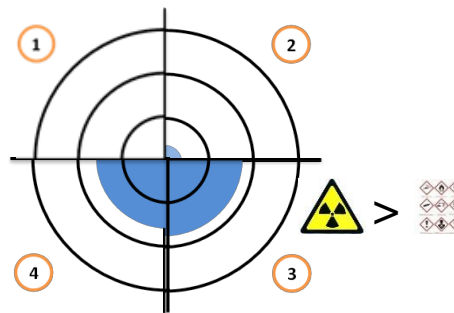
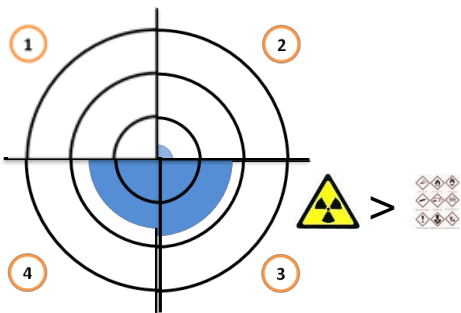
F1-3-01 (CSD-V)



F2-4-03 (bitume)



F6-9-01
(IsotopChim)



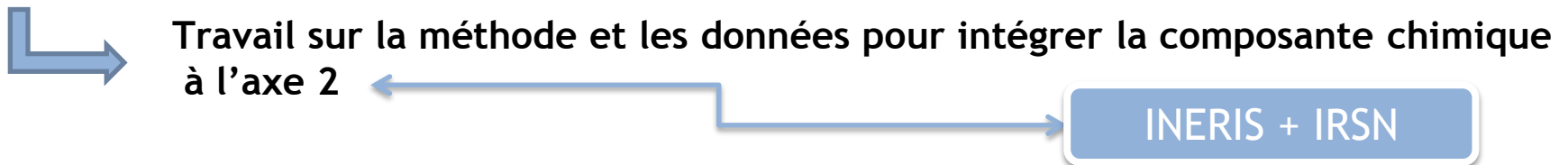
réflexions à poursuivre

Des réflexions à poursuivre sur la méthode

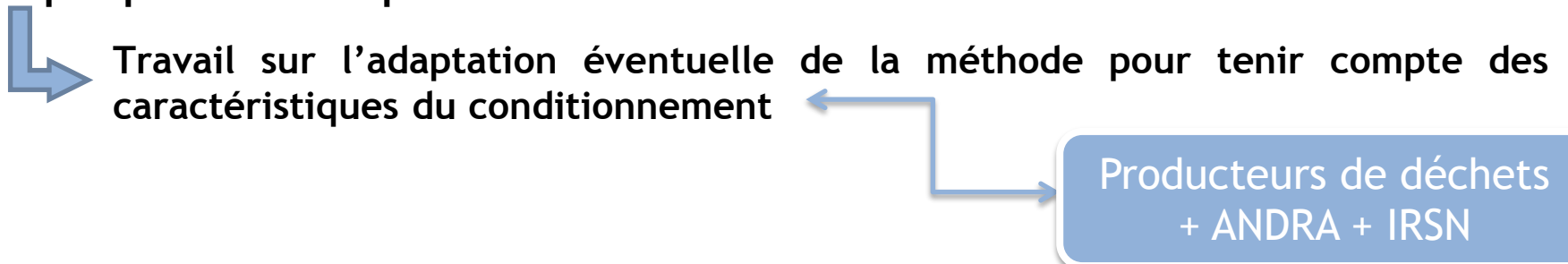
- Les bases élaborées par l'IRSN permettent de disposer d'une méthode opérationnelle qui produit des indicateurs environnementaux et sanitaires, chimiques et radiologiques
- Des premiers résultats cohérents avec les catégories associées aux familles testées

MAIS

- La méthode est à compléter pour la composante chimique

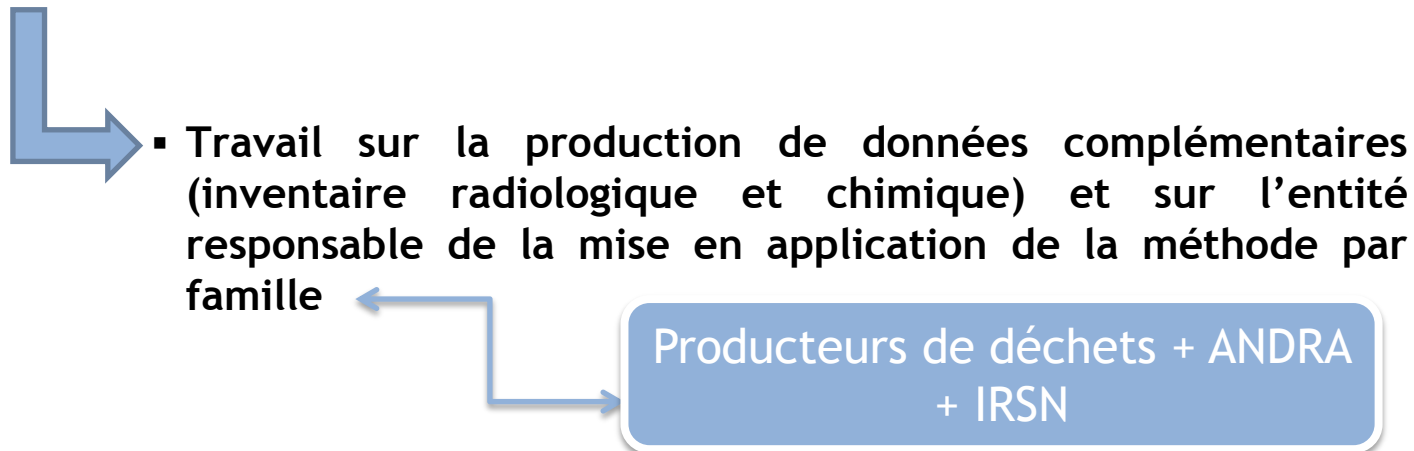


- L'incidence de la matrice dans laquelle est conditionnée le déchet n'est pas prise en compte



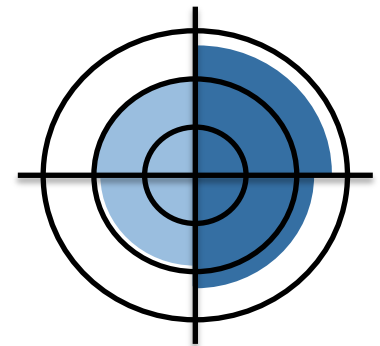
Des réflexions à poursuivre sur le déploiement de la méthode

- Un objectif : le déploiement progressif de la méthode sur l'ensemble des familles de déchets (un pictogramme de nocivité par famille de déchets)
- Les données disponibles sur le portail de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs ne permettent pas le déploiement systématique de la méthode pour chaque famille



Des réflexions à poursuivre sur le produit de la méthode

La méthode propose une représentation adimensionnelle de la nocivité des déchets fondée sur une graduation commune, quel que soit le cadran considéré



- Question de l'équivalence des indicateurs entre cadran
- Question de la signification des 3 zones délimitées
- Question de l'agrégation chimique/radiologique
- Caractère signifiant de la représentation, quel accompagnement nécessaire à la représentation graphique ?
- Comment utiliser les indicateurs pour apprécier les modes de gestion ?

Groupe élargi (y compris public non averti)



COLIS DE DÉCHETS VITRIFIÉS CSD-V (AREVA/LA HAGUE)

F1-3-01

DES DÉCHETS ISSUS DES COMBUSTIBLES USÉS

Cette famille de l'inventaire national concerne les contenants standards de déchets vitrifiés en acier inoxydable (CSD-V) dans lesquels sont conditionnées les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs, calcinés et incorporés dans une matrice de verre, dans les ateliers de vitrification R7 et T7 de La Hague.

AREVA a reçu, en 2007, l'autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire d'augmenter le teneur en actinides des déchets vitrifiés pour s'adapter à l'augmentation du taux de combustion des combustibles. Dans le scénario proposé par EDF et retenu pour établir l'inventaire de Cigéo, le traitement des combustibles usés MOX est supposé débuter vers 2020, en mélange avec des combustibles usés UOX et URE. De la même façon, les combustibles usés des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix seront traités en mélange avec des combustibles UOX. L'ensemble des colis ainsi produits est rattaché à cette famille.

En outre, les colis de déchets vitrifiés provenant du traitement des combustibles usés du CEA/Civil, du CEA/DAM ainsi que ceux du réacteur à eau lourde de Brennilis font partie de cette famille.

Cette famille comporte également des colis de déchets vitrifiés produits lors de la vidange du four de vitrification et à partir de calcinats issus des campagnes de nettoyage du calcinateur.

Nota : Les volumes présentés ci-dessous sont ceux correspondant à la part française des colis de déchets vitrifiés produits sur le site de La Hague.

UN ENTREPOSAGE EN PUIXS VENTILÉS

Ces colis de déchets sont entreposés dans les ateliers R7 et T7 à La Hague en puits ventilés permettant leur refroidissement, ainsi que dans l'Extension des Entreposages des Verres - Sud-Est (E-EV-SE). Ils sont également entreposés dans une nouvelle extension appelée « Extension des Entreposages des Verres - La Hague (E-EV-LH) » mise en service fin 2013.



Conteneur standard de déchets vitrifiés - CSD-V

Catégorie	HA
Secteur(s) économique(s)	Électronucléaire, Recherche, Autres
Propriétaire(s) des déchets	AREVA, CEA Civil, EDF, Divers
État de production des déchets	En cours de production
État de production des colis	En cours de production
Appartenance aux différents types de déchets	Fonctionnement - Démantèlement - RGD

EN CHIFFRES

STOCK ET PRÉVISIONS

Date	Stock	Prévisions (cumul)	
	Fin 2013	Fin 2020	Fin 2030
Volume total (m ³)	2 407	3 318	4 740

* Volume estimé de la totalité des colis de déchets, une fois le conditionnement effectué.

RADIOACTIVITÉ DE LA TOTALITÉ DES DÉCHETS

Activité calculée par l'Andra en Bq à la date du 31/12/2013

Activité totale à fin 2013 (y compris les RVM en équilibre radioactif)	
Total	2,1.10 ¹⁴
Part α	3,5.10 ¹⁴
Part β, γ à vie courte	2,0.10 ¹⁴
Part β, γ à vie longue	3,1.10 ¹⁴

Merci de votre attention.