ONDRAF/NIRAS

Les apports de la radioprotection dans la gestion de la sûreté à long terme des déchets radioactifs

J.P. Minon, Directeur général

C. Depaus, R&D Gestion à long terme

La Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs :

Etat des Lieux, Enjeux et Perspectives, 1-2 October, 2013, Paris, France

SFRP – Section Environnement

Belgian Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials

Plan

- **Sûreté à long terme: concept polysémique – exemple des stockages de déchets radioactifs**
- **Rôle de la radioprotection: indicateurs de sûreté et de performance**
- **Les trois principes de la RP: enjeux et limites**
- **Le dossier de sûreté ("safety case")**
- **Défis et perspectives**
- **Conclusions**

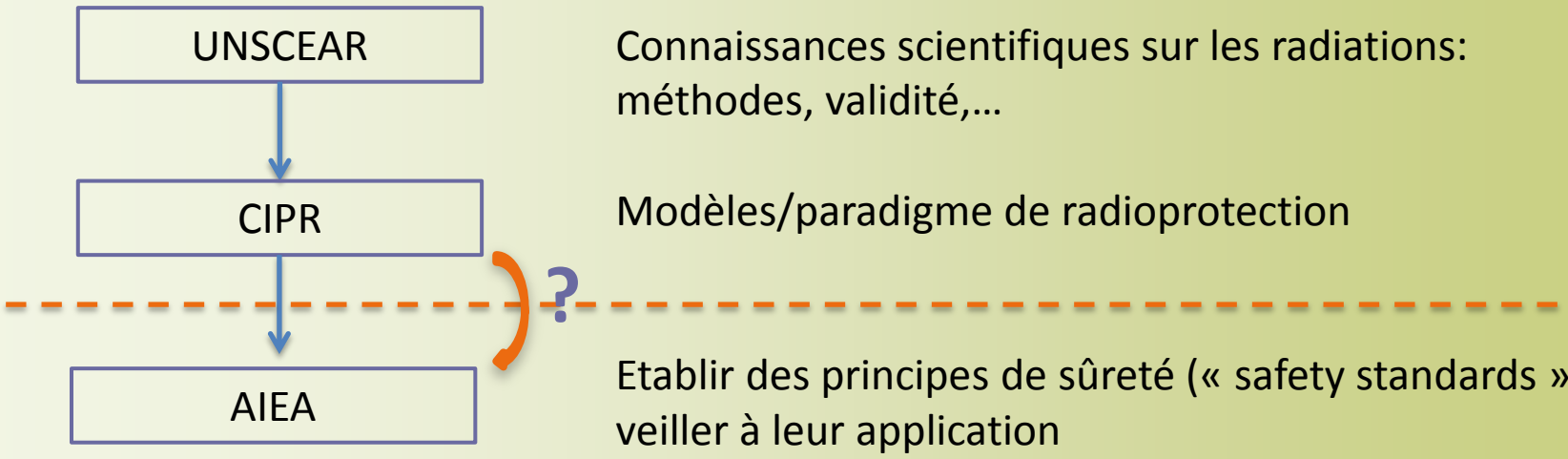
ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

« A warm and fuzzy feeling» ? (M. Jensen, Suède)

→ interprétations/exégèses techniques & politiques sur « complètement/absolument sûr »

→ Un fond de radioprotection…puis un « saut quantique » conceptuel:



N.B: 1985 - 1ère publication CIPR mentionnant le stockage géologique
2000 – publication CIPR -81
2013 – publication CIPR -122 (spécifique au stockage géologique)

ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers les principes de sûreté à long terme

Objectif fondamental de sûreté: protéger l'homme et l'environnement des effets néfastes des radiations ionisantes **+** les déchets doivent être gérés de façon telle que leurs effets sur la santé des générations futures ne soient pas supérieurs aux niveau pertinents acceptables aujourd'hui (AIEA, 111-F, 1995)

Stratégie de sûreté: isoler et confiner(vs diluer et disperser) (AIEA, SSR-5, 2011)

L'échelle de temps (milliers voire million(s) d'années) impose le respect de principes de sûreté spécifiques aux stockages de façon à assurer une protection à long terme en dépit des incertitudes:

- sûreté passive
- optimisation – BAT (! non uniquement radiologique)
- robustesse, (intrinsèque & d'évaluation de la sûreté (fiabilité))
- défense en profondeur (redondance & diversité des barrières/fonctions de sûreté)
- approche graduée

→ FONCTIONS de SURETÉ pour « traduire » ces principes

ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers les fonctions et concept de sûreté à long terme (1/2)

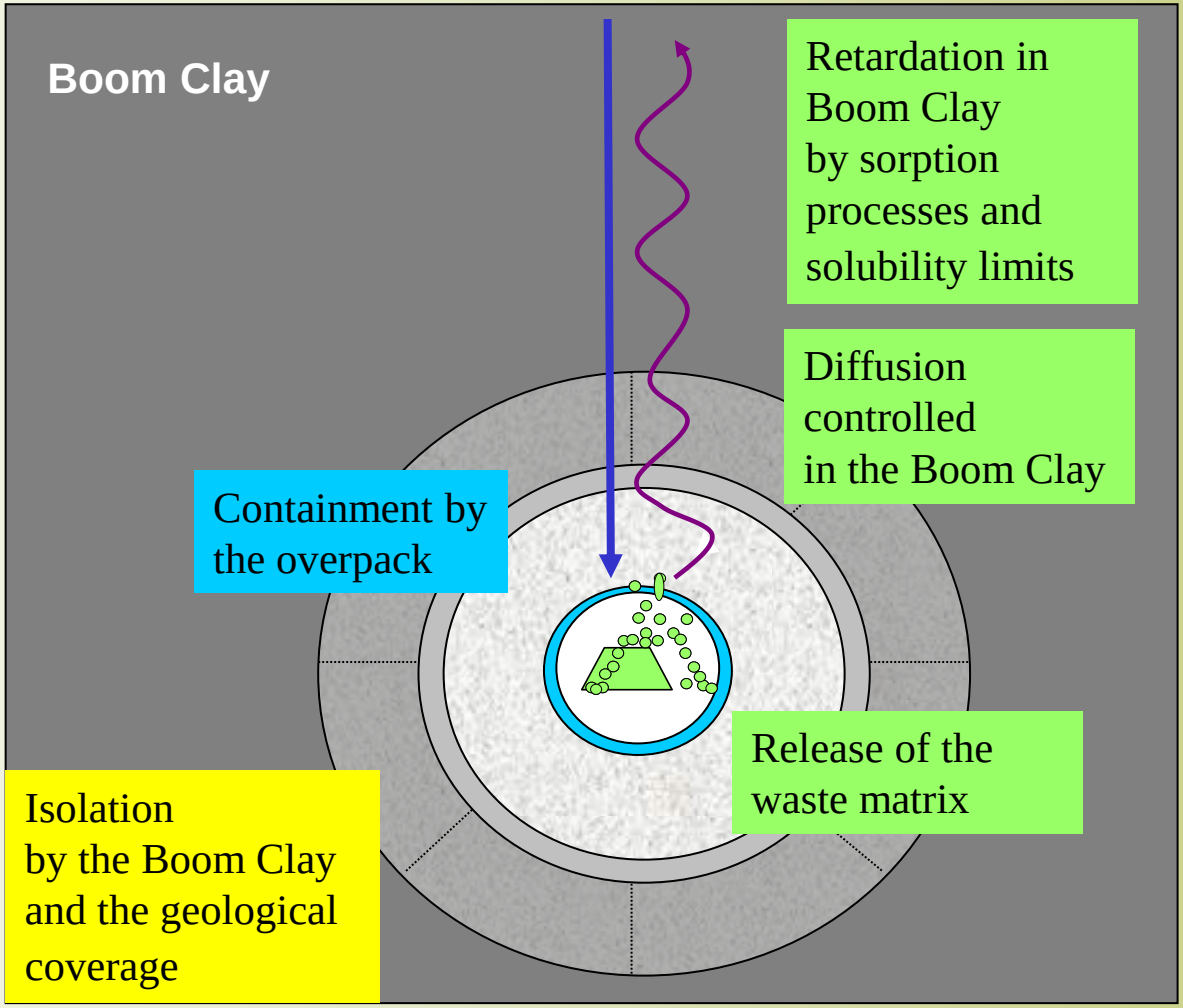
Stratégie ⟶	**Fonctions de sûreté** ⟶	**Concept de sûreté**
Isoler	Isolation (I)	Isolation
Confiner	Containment (C)	Engineered containment (barrières ouvragées)
	Retardation (R)	System containment (roche-hôte & barrières)

de façon passive, avec des fonctions reposant sur des éléments (barrières) ou processus variés et complémentaires (défense en profondeur), stable (robustesse intrinsèque)…

ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers les fonctions et concept de sûreté à long terme (2/2)



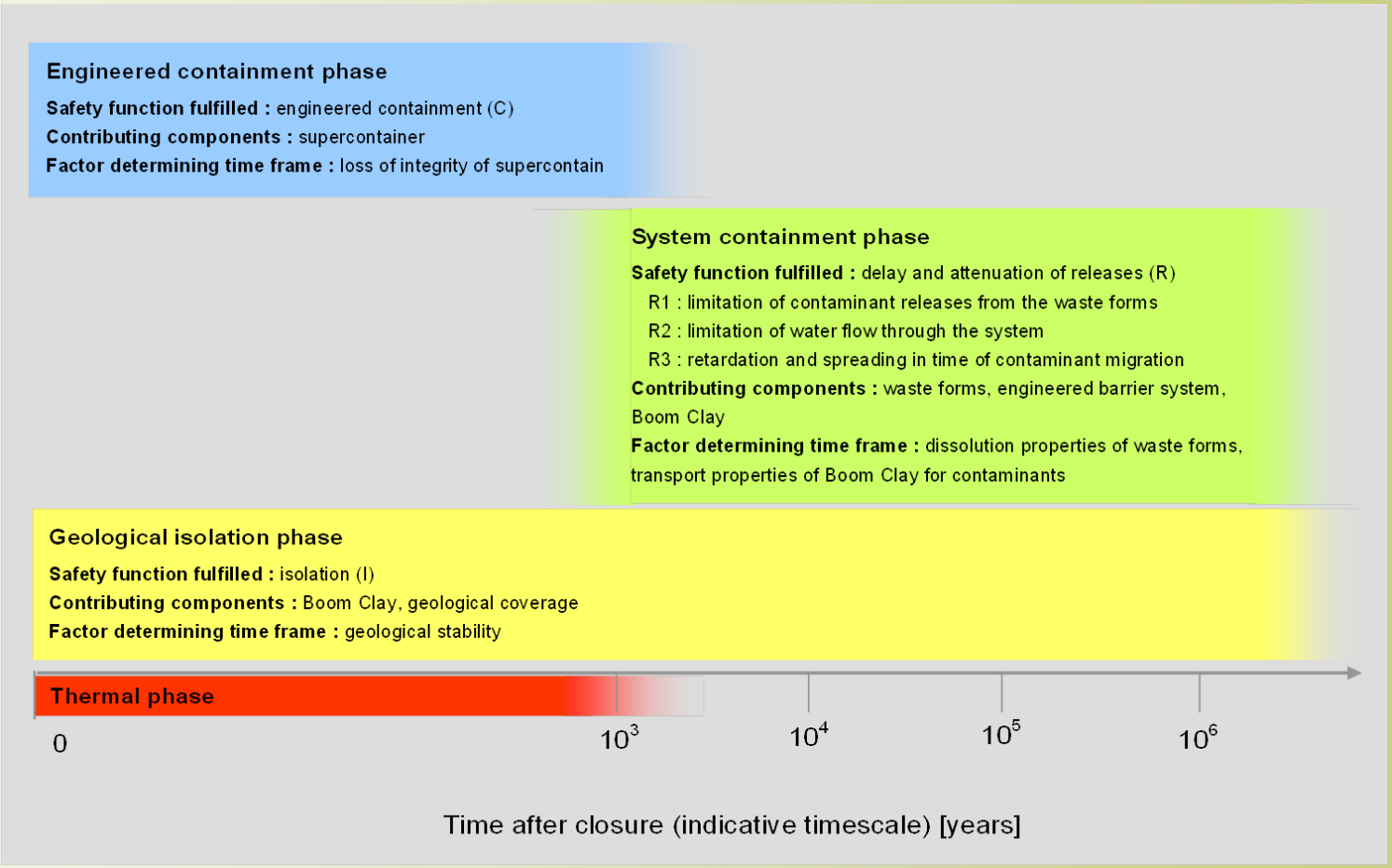
Ex: Stockage géologique dans l'argile de Boom.

ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers le concept de sûreté à long terme (1/4)

Evolution des fonctions de sûreté en fonction du temps



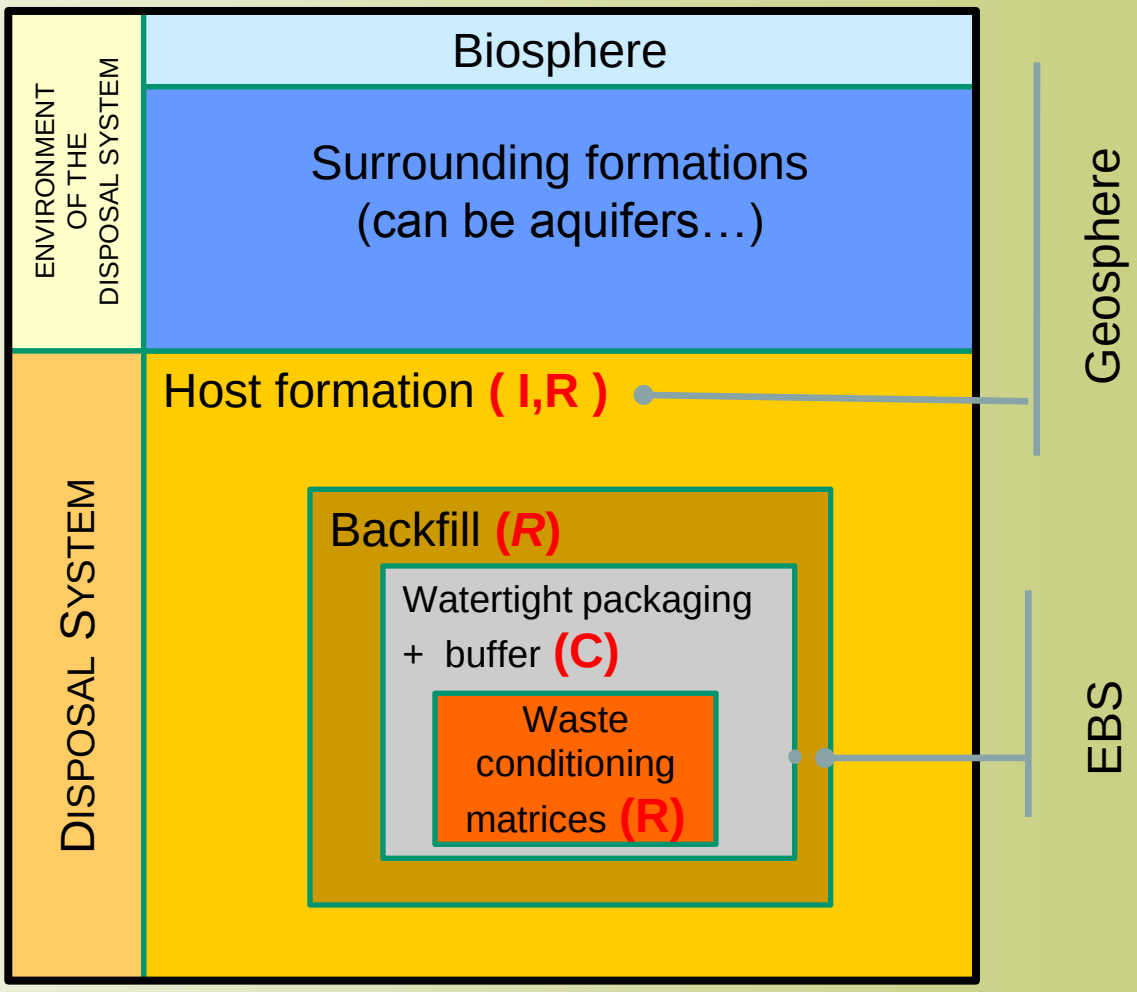
Exemple de « safety concept » pour un stockage géologique de SF & HLW

ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers le concept de sûreté à long terme (3/4)

Fonctions & multi -barrières

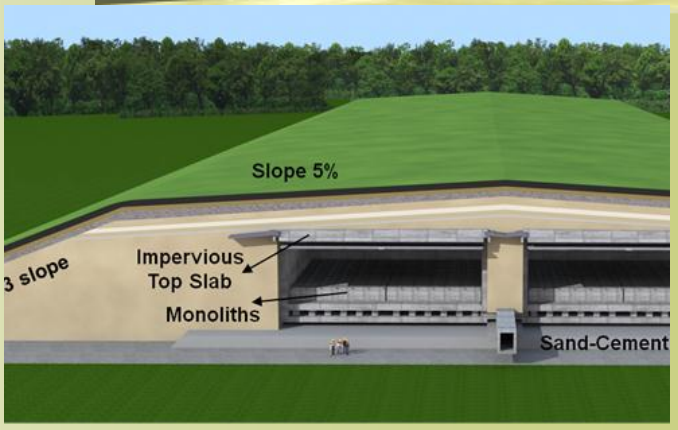


Exemple de « safety concept » pour un stockage géologique de SF & HLW

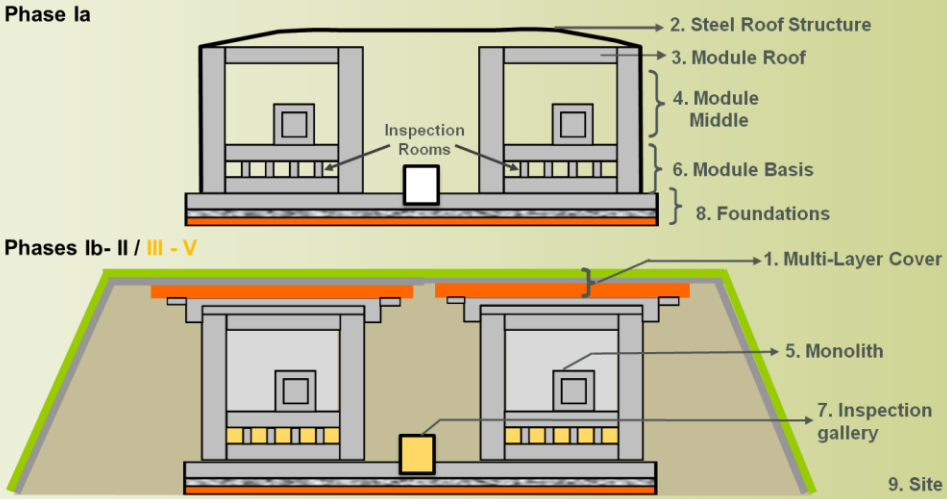
ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers le concept de sûreté à long terme (4/4)



Ex: Stockage de surface



ONDRAF/NIRAS

1. Qu'est-ce que la sûreté ?

… vers le concept de sûreté à long terme (3/3)

Exemple de concept de sûreté d'un dépôt de surface de LLW.

Long Term safety	R1				R2a				R2b				R3				I1			
Component	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI
1. Multi-Layer cover																				
1.1 Biological Layer					M	M	M	C												
1.2 Bio-intrusion Barrier					C	C	C	C												
1.3 Infiltration Barrier					M	C	C	C												
1.4 Sand Layer					M	C	C	C												
1.5 Impervious Top Slab					M	M	C										M	M	C	
1.6 Floating Slabs					C															
1.7 Bitumen layer					C															
1.8 Side Embankment																				
3. Module Roof																				
3.1 Structural Top Slab					C	C											M	M	C	
3.2 Precast Shielding Slab					C	C														
4. Module Middle																				
4.1 Gravel																				
4.2 Module Wall					M	C			M	C			M	M	M	C	M	M	C	
5. Monolith																				
5.1 Caisson					M	M			M	M			M	M	M	C	M	M	C	
5.2 Mortar					M	M			M	M			M	M	M	C	M	M	C	
5.3 Waste Form	M	M	C														M	M	C	
6. Module Basis																				
6.1 Support Slab									M	M			M	M	M	C				
6.2 Backfilled drainage system									C	C			M	M	M	C				
6.3 Precast Element													M	M	M	C				
6.4 Columns									C	C			M	M	M	C				
6.5 Backfilled inspection room									C	C			M	M	M	C	M	M	C	
6.6 Foundation Slab									M	M			M	M	M	C				
7. Backfilled Inspection Gallery																	M	M	C	
8. Foundations																				
8.1 Sand-Cement Embankment													M	M	M	C				
8.2 Drainage layer					M	M	C													
8.3 Site Sand Leveling																				
9. Site																				
9.1 Site Geology													C	C	C	C				
9.2 Site Surveillance (Nuc. Class I Facility)																	M			
9.3 Markers and archives																	C	C	C	

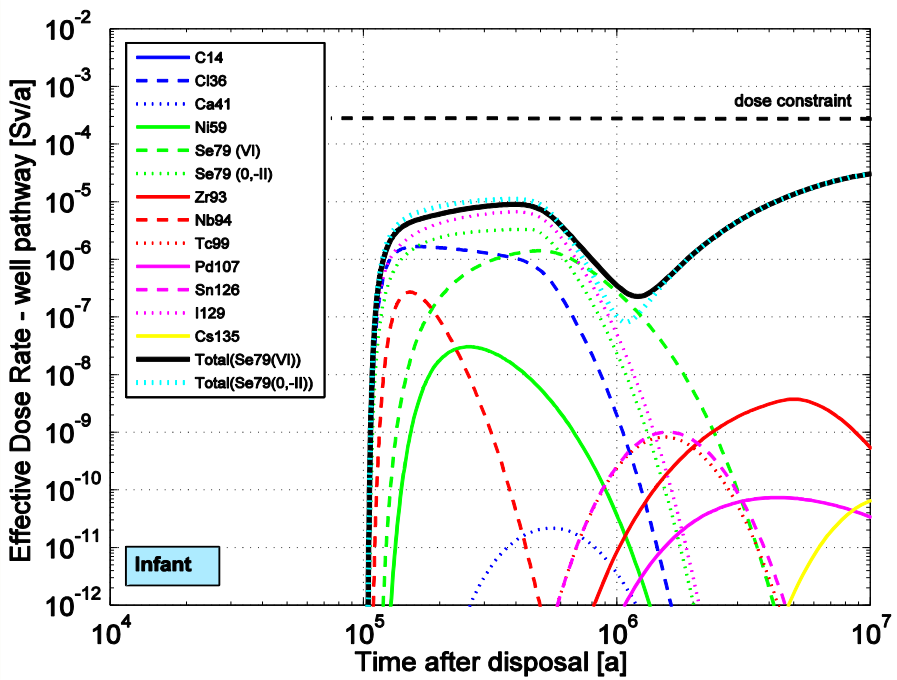
Legend:
M (Main) - C (Contribute)
III - Nuclear Regulatory Control Phase
IV - Isolation Phase
V - Chemical Containment Phase
VI - Post Containment Phase

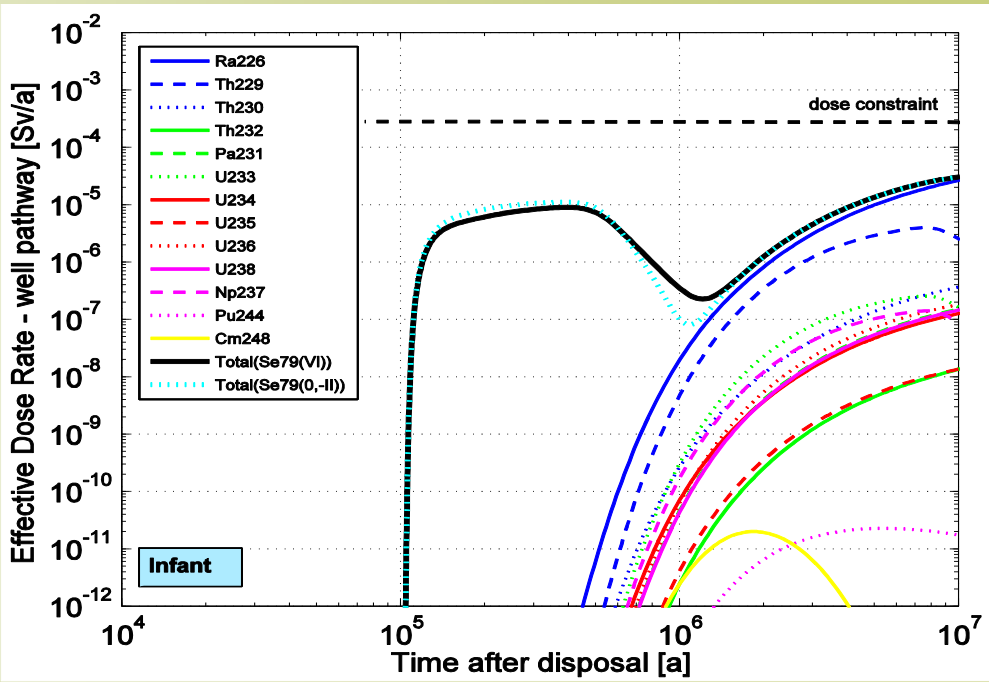
Chaque composant du système de stockage participe à une ou plusieurs fonctions de sûreté, à titre principal (M) ou à titre contributif /de support (C)

Combinaison des barrières (moyens) et des fonctions (buts), illustrant le principe de défense en profondeur.

2. Protection radiologique et sûreté à long terme

2.1 Utilisation d'indicateurs de sûreté

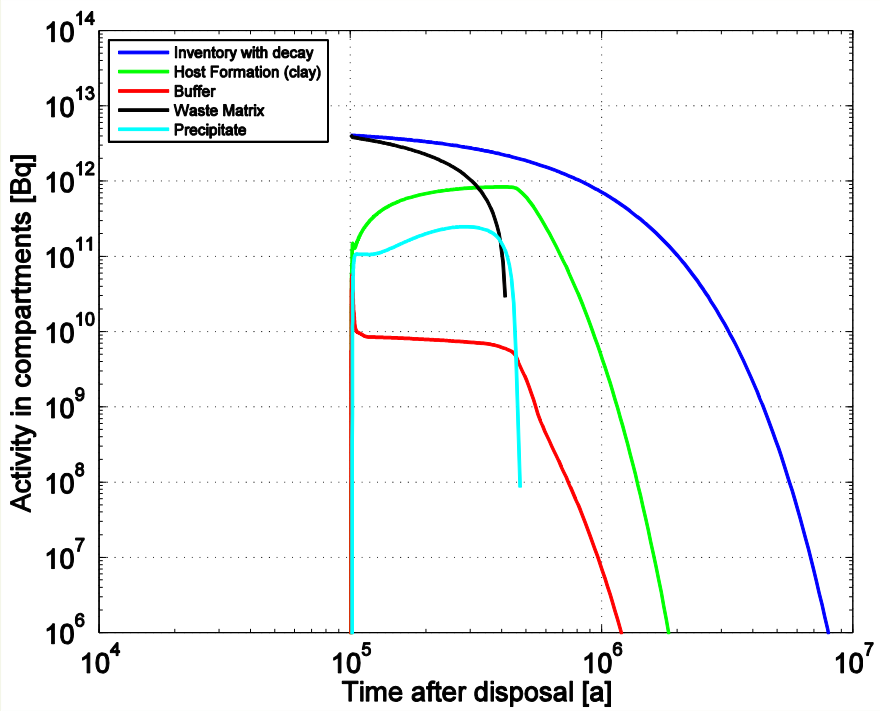




Les contraintes de doses restent d'application (0,3 mSv - CIPR-122, §49)
<u>mais</u> l'interprétation sur le long terme se heurte à des difficultés intrinsèques (CIPR-77, §19)
→ image tronquée de la sûreté ?
→ les indicateurs de sûreté serviront davantage (avec les indicateurs de performance) à la comparaison d'alternatives et à l'évaluation de la robustesse du système (CIPR-122, §47) plutôt qu'à l'évaluation de préjudices sanitaires.

2. Protection radiologique et sûreté à long terme

2.2 Utilisation d'indicateurs de performance (exemple)



Permet d'évaluer les performances de chaque composant essentiel du système, jusqu'à 1Ma et au-delà…

A ces échelles de temps:

- la prise en compte de changements géologiques/climatiques/etc. majeurs complique l'évaluation du risque purement radiologique lié au stockage (ICRP-81) → **un « safety case » sera nécessaire (AIEA, SSG-23, 2012)**
- le futur très lointain d'une société humaine est imprévisible
- les scénarios d'évolution altérée de contamination éventuelle sont stylisés

3. Les principes de protection radiologique revisités

3.1 Le principe de justification des pratiques (1/2)

CIPR-77, §15: gestion & stockage des déchets font partie intégrante de l'activité qui les a engendrés → n'ont pas à être justifiés <u>indépendamment</u> de cette activité <u>mais</u>… CIPR-122, §44.1:

- la justification de l'activité doit/devrait comprendre l'évacuation ultime par stockage (ex: dépôt géologique)
- la justification doit être réévaluée à la lumière des évolutions scientifiques, techniques ou sociétales
- si l'évacuation ultime n'a pas été prise en compte dans la justification de l'activité dès son origine, la protection de l'homme et l'environnement doit néanmoins être optimisée (indépendamment de la justification)

<u>Nouveau défi</u>: les stockages « réversibles/récupérables »

Quelle justification ? La protection radiologique <u>vs</u> attentes citoyennes (reprise de contrôle « actif » sur une sureté passive) → nouveaux critères/ nouveau paradigme**?**

3. Les principes de protection radiologique revisités

3.1 Le principe de justification des pratiques (2/2)

Stockages réversibles / récupérables – “messages-clés” ICEM, septembre 2013:

- Consensus actuel: la “récupérabilité” devrait rester à un stade conceptuel (possible mais ne peut être le principal pilote du design et son financement ne devrait pas être pris en considération…)

- La tendance actuelle consiste à accepter les modifications de design en vue de permettre la récupérabilité **sans discuter l’ensemble des aspects radiologiques, scientifiques, de sûreté, de coûts, d’éthique,…**

… sûreté polymorphe…

- SKB (WMO, Suède) subit une forte pression du public et des milieux académiques (pas des régulateurs) pour dépasser l’approche conceptuelle rapportée dans le dossier de sûreté et démontrer la faisabilité de celle-ci…

3. Les principes de protection radiologique revisités

3.2 Le principe d'application des doses limites (1/2)

Stockage de déchets → « potential exposures » dans un futur lointain incertain ∈ « planned exposure situations » ➔ Ces expositions ne peuvent pas dépasser les limites fixées (CIPR-103, §176)

- utilisation de la « dose effective » pour démontrer le respect des limites de dose: 1mSv/an (CIPR-103, §153, §245) → pour un stockage: 0,3 mSv/an (CIPR-122, §67)

- puisqu'il s'agit d'exposition potentielle résultant de l'occurrence incertaine d'un événement → contraintes de risque applicables : 10^{-5}/an (public), tenant compte de la probabilité du scénario… (CIPR-122, §46)

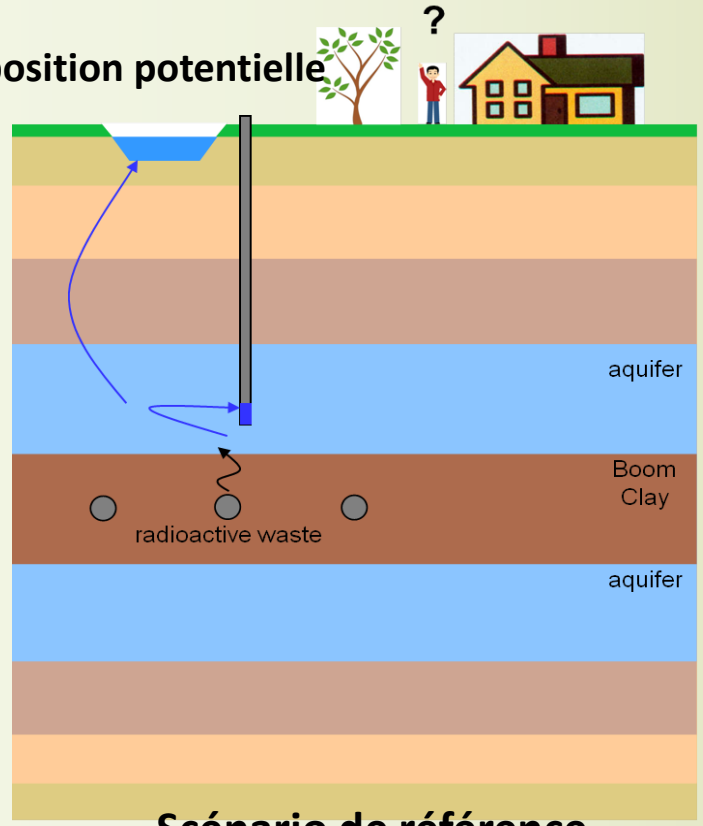
- <u>l'estimation</u> d'une probabilité pour certains événements peut être difficile (ex: séisme futur lointain, volcanisme, réactivation de failles, glaciation,…)

3. Les principes de protection radiologique revisités

3.2 Le principe d'application des doses limites (2/2)

- l'intrusion humaine par inadvertance dans un futur lointain = « existing exposure situation » (CIPR-122, §55) → [1-20] mSv/an (CIPR-122, §61). Pas d'approche probabiliste, seulement <u>stylisation</u> de scénarios (CIPR-122, §65)

Exposition potentielle



Scénario de référence

Situation existante…

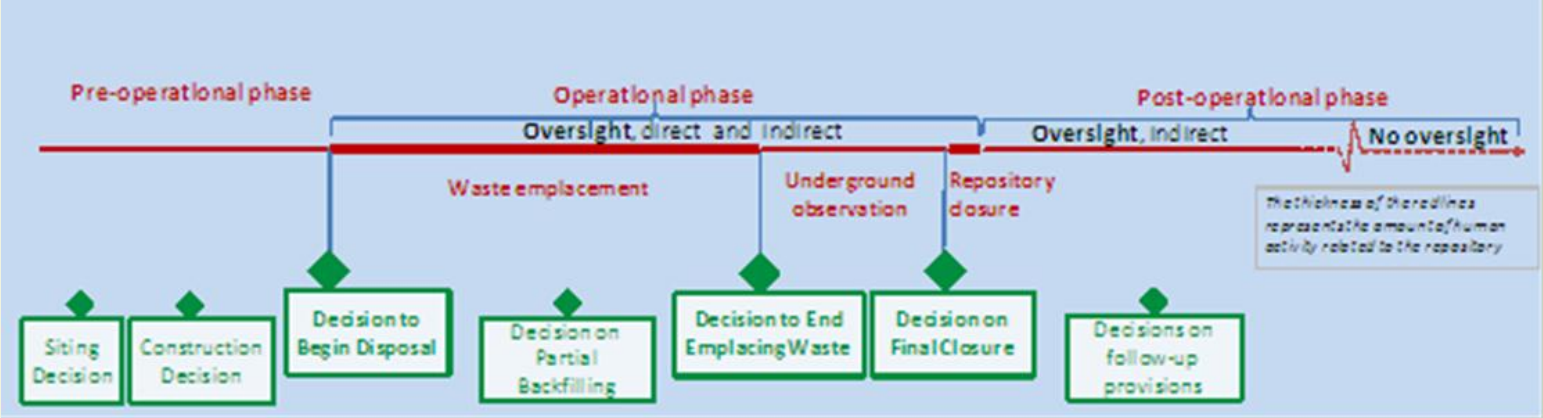
Scénario d'intrusion

(ex: technologie disponible mais mémoire perdue)

3. Les principes de protection radiologique revisités

3.2 Le principe d'optimisation (1/3)

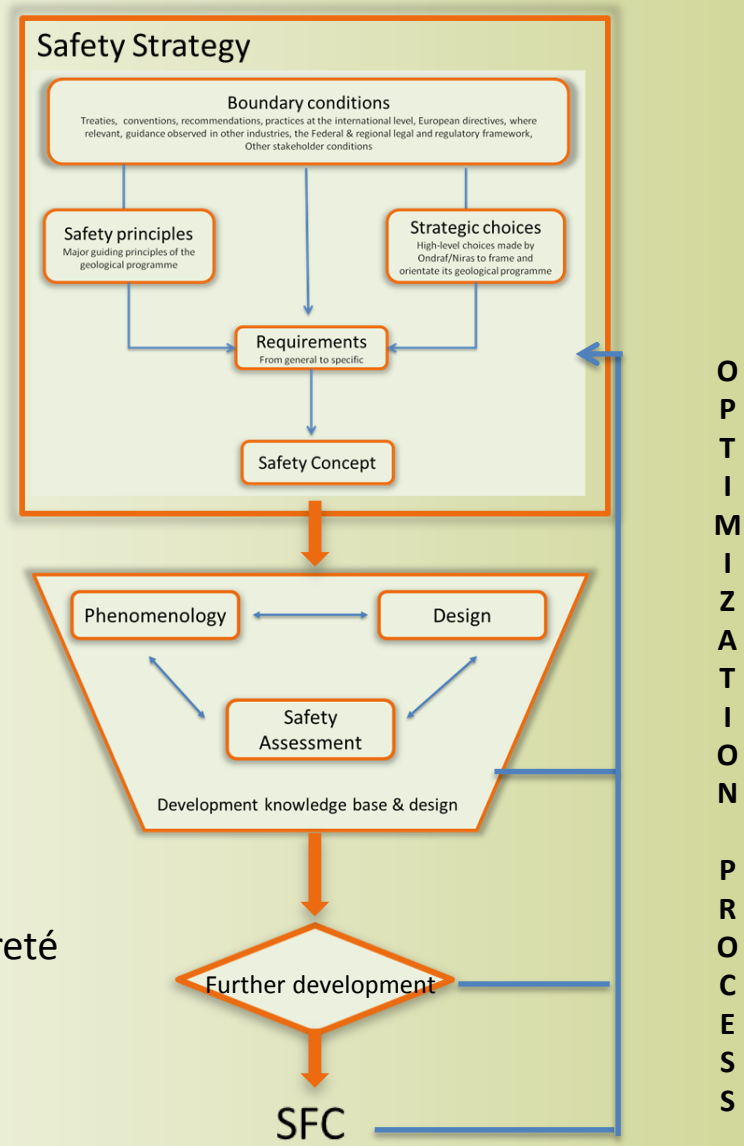
- CIPR-101; CIPR-103: principe ALARA tenant compte des contraintes économiques et sociétales
- CIPR-122, §70, §71: optimisation radiologique →optimisation du système de stockage (dans tous ses aspects !)
- Optimisation de la protection pour toutes les phases du projet



- Principe-clé au cœur de la <u>stratégie de sûreté</u>, dès le début de la R&D…

3.Les principes de protection radiologique revisités

3.2 Le principe d'optimisation (2/3)



OPTIMIZATION PROCESS

Le principe d'optimisation est le « moteur » de la stratégie de sûreté et intervient à tous les niveaux

3.Les principes de protection radiologique revisités

3.2 Le principe d'optimisation (3/3)

Conditions frontières (Boundary conditions):
Autorités environnementales et de sûreté, communautés locales, autres « parties prenantes »,…

+ Facteurs socio-économiques + Problèmes de « siting », etc.

⇩

Optimisation = effort continu, itératif, par étapes ≠ suivant les étapes

Dans le futur lointain, incertitudes ↗, pertinence dose/risque ↘, l'optimisation est guidée par la capacité du système à isoler et confiner ainsi que sa robustesse… (ICRP-122, §80-86)

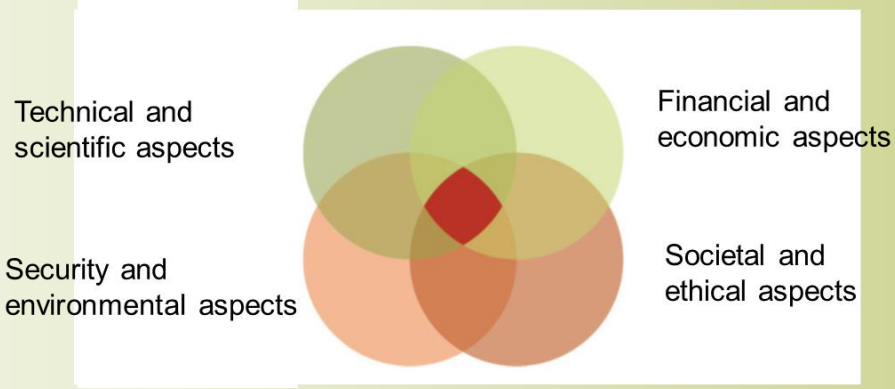
⇩

<u>Principe BAT(NEEC)</u>

4.Le dossier de sûreté (safety case)- AIEA SSG-23

- Sert à démontrer la sûreté (dans tous ses aspects) et à établir la confiance de toutes les parties prenantes

- Collection d'arguments scientifiques, techniques, administratifs et de gestion portant sur l'adéquation du site choisi, la conception du stockage, les opérations de construction et de remplissage ainsi que l'évaluation des risques radiologiques et de la sûreté (opérationnelle & long terme):



- Dossier sur lequel s'appuie la demande d'autorisation/licence et devant être régulièrement mis à jour.

5.Défis & perspectives

1ère catégorie (intrinsèque au travail d'implémentation) :

- Sûreté polymorphe et élusive
- Protection radiologique au centre de la démonstration mais en perte de sens sur de longues échelles de temps
- Démonstration se basant autant sur la connaissance du système que sur la maîtrise des incertitudes
- Processus itératif et progressif, mû par une optimisation générale de la protection
- Gestion d'exigences pouvant être contradictoires

2e catégorie (interactions):

- Sûreté et sentiment de sûreté (sûreté passive vs approche plus « active »)
- Evolution de société et processus décisionnel à long terme. Bâtir la confiance
- Perspectives opérateur vs régulateur, à concilier

5.Défis & perspectives

2e catégorie (interactions- suite):

- L'optimisation doit rester un processus pragmatique au service d'un projet
- L'optimisation ne doit pas servir l'attentisme
- L'optimisation est un processus prospectif, non rétrospectif
- L'optimisation est un processus par paliers où la prise en compte des limites de dose laisse place progressivement à la démonstration de la robustesse
- La gestion des déchets radioactifs implique la mise en place de stratégies d'envergure et de long terme (<> politiques nationales)
- Droit international énonce les intentions, les législations nationales peinent dans leur réalisation

→ Le « safety case » traduit ces défis et permet le passage (« saut ») des principes de protection radiologique aux fonctions de sûreté

Conclusions

- La sûreté à long terme des stockages de déchets radioactifs repose sur des fonctions de sûreté au service de l'isolation et du confinement

- Il est autant important d'en établir objectivement le niveau (jugement d'experts et évaluations) que de développer la confiance (parties prenantes)

- Les principes spécifiques de sûreté passive, défense en profondeur, robustesse (stabilité et fiabilité face aux incertitudes) et d'optimisation guident le développement des systèmes de stockage

- La radioprotection est la base de la démonstration de sûreté. Objectif premier dans les premières phases du dépôt, elle devient un outil de comparaison d'options sur le long terme

- La protection radiologique sur le long terme et en particulier, sa pondération dans la démonstration de la sûreté demeure un sujet de discussion entre opérateurs et régulateurs