

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue

IRSN

Débat Public PNGMDR,

20 juin 2019

MEMBRE DE

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

Introduction

➤ Démarche et objectifs

Demande de la Commission Particulière du Débat Public :

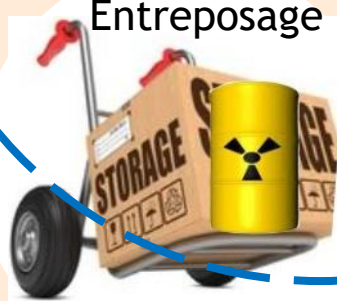
- **Revue bibliographique** (références publiques) assez large bien que non exhaustive
pngmdr.debatpublic.fr
 - **pas le point de vue de l'IRSN** sur la pertinence ou la faisabilité des options explorées
www.irsn.fr
- ⇒ Six grandes familles d'alternatives présentées
- Niveau de détail varie selon documentation disponible et maturité atteinte

Séparation-
transmutation

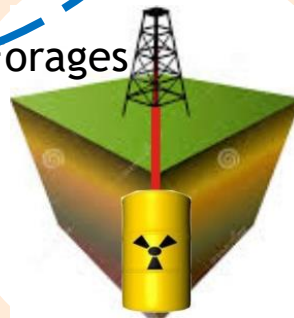


Loi « Bataille »
1991

Entreposage



Forages



Stockage
« géologique »



Glace polaire



Fonds
marins



Espace



L'envoi de déchets dans l'espace



- Débarrasser définitivement la Terre des déchets radioactifs les plus nocifs
 - envoi au-delà de l'atmosphère, à l'aide d'engins spatiaux
 - plusieurs destinations ultimes envisagées, y compris le soleil

🌐 Années 1970 : études de la NASA (États-Unis)

- Éléments les plus nocifs du traitement du combustible utilisé
- Conditionnés de manière à rester intact pour tout scénario d'accident
- Mise en orbite terrestre basse par navette spatiale, puis remorqueur spatial vers la lune, en orbite autour du soleil, etc.

Non envisagé en France

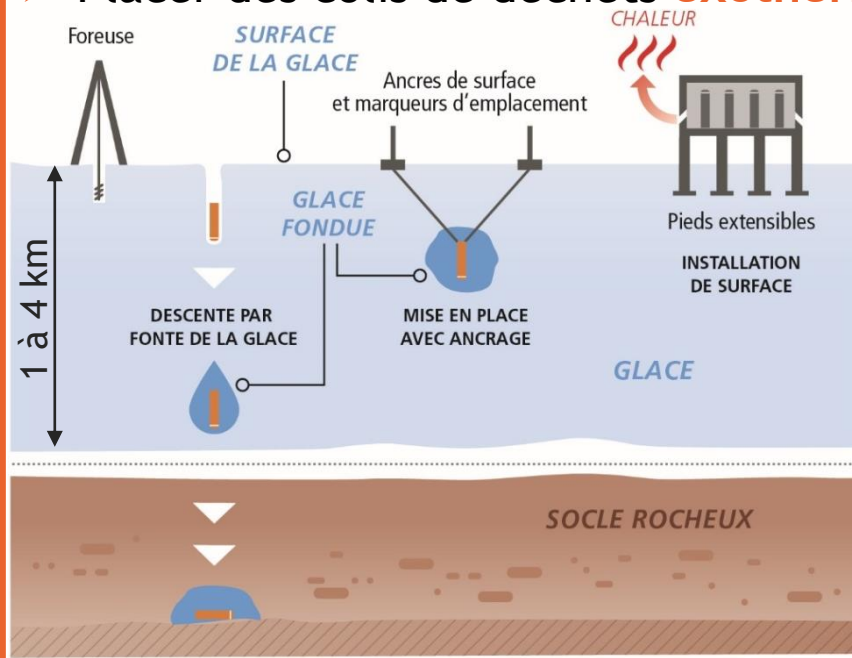
⊖ Abandonné car :

- Coût très élevé
- Aspects politiques et juridiques...
- Colis des déchets : résistance thermique et au risque de chute, tout en restant léger
- Accidents des navettes Challenger en 1986 et Colombia en 2003

L'immobilisation dans la glace polaire



➤ Placer des colis de déchets **exothermiques** (chauds)



- **sur la glace**: sa **fusion** provoquera leur enfoncement progressif
- à **faible profondeur**, retenus par câble en surface pour pouvoir les récupérer
- en **installation de stockage en surface** qui laisse la chaleur se dissiper, jusqu'à ce que la **neige** les ensevelisse

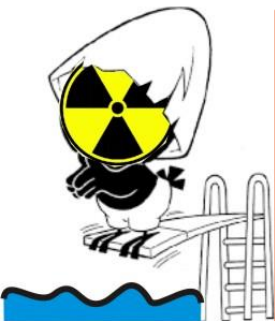
🌐 Étudié par les **États-Unis** jusque dans les années 1980

⊖ **Abandonné car :**

Non envisagé en France

- poches salées piégées dans les glaces → corrosion accélérée
- instabilités liées au mouvement des glaces sur le socle rocheux
- durabilité des calottes glaciaires incertaine
- Traité de 1959 sur l'Antarctique...

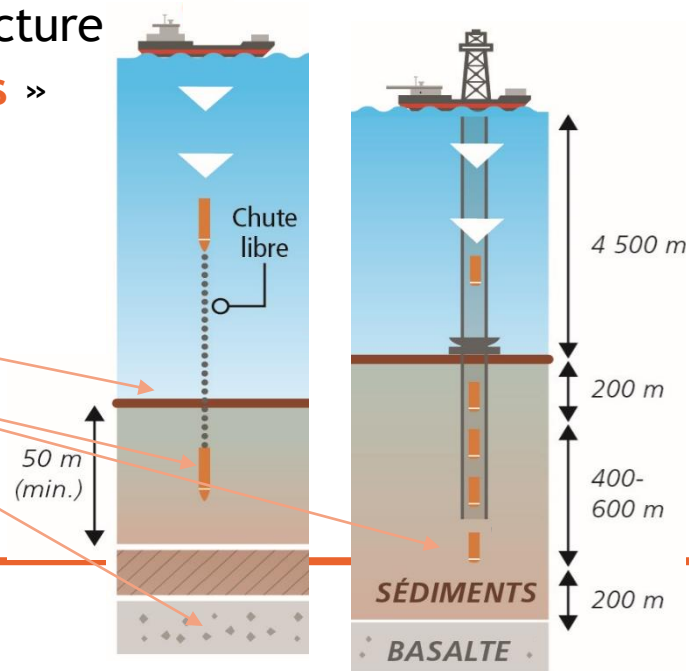
Le stockage dans les fonds marins (1)



➤ Opération depuis un bateau ou une structure offshore, par **forages** ou « **pénétrateurs** »

1) Dépôt dans les « **grands fonds** »

- sur le **plancher océanique** : recouvrement par la sédimentation
- enfoncés dans les **sédiments** mous
- placés en forage dans le **socle** rocheux



🌐 A partir de 1976, *Subseabed Disposal Program**
(États-Unis, France, Royaume-Uni, Japon...)

➔ Participation de la France
Aucun travail technique ni réflexion poursuivis après 1986

⊖ Après désistement des États-Unis en 1986, progressivement **abandonné**
car incompatible avec **accords internationaux** sur les droits de la mer

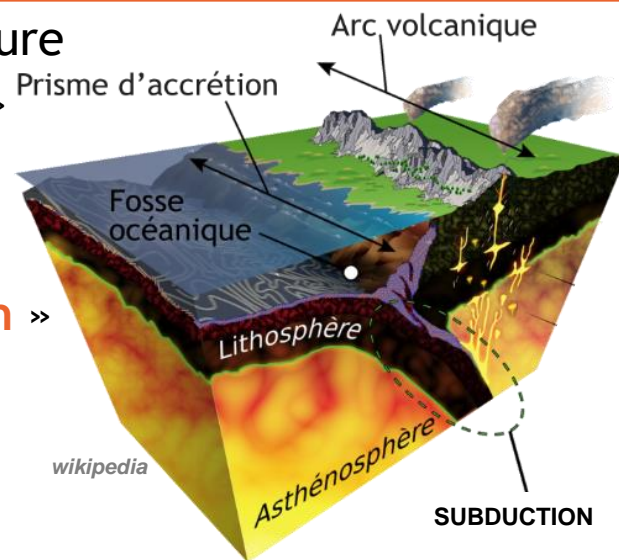
**Programme de stockage sous-marin*

Le stockage dans les fonds marins (2)



➤ Opération depuis un bateau ou une structure offshore, par **forages** ou « **pénétrateurs** »

2) Dépôt au droit des zones de « **subduction** »



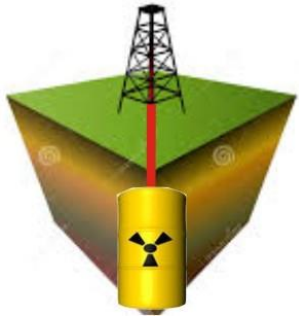
🌐 Phénomène tout juste connu dans les années '60 → nouvelles connaissances '70

⊖ **Abandonné car :**

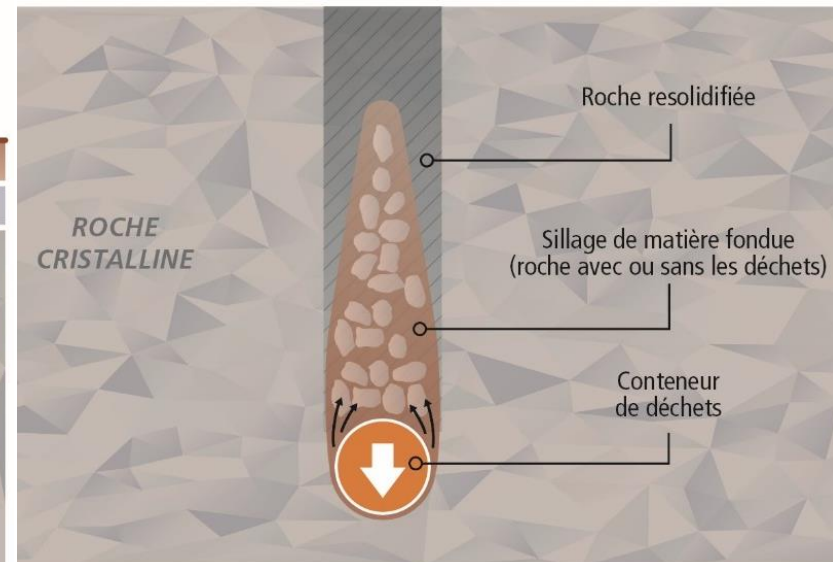
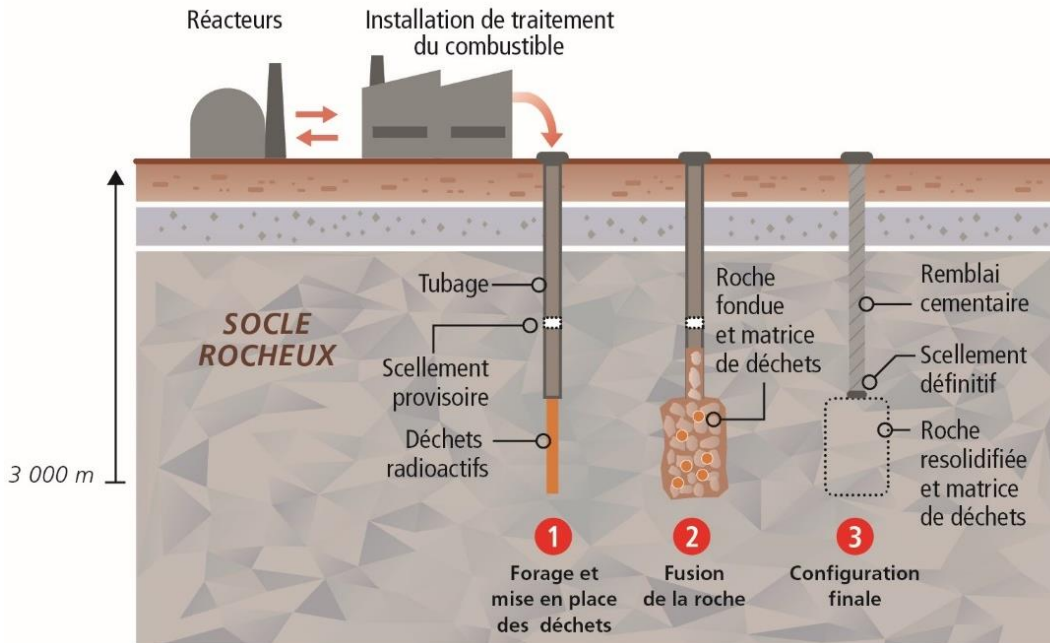
- Sédiments mous de la croûte restent en surface
- processus lent : 1 à 10 centimètres par an
- tremblements de terre, volcanisme explosif

Non envisagé en France

Le stockage en forages (1)



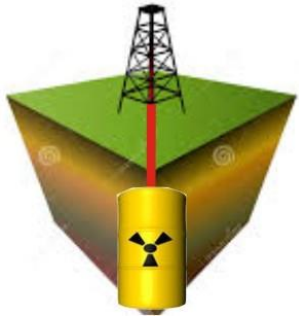
- Déchets au fond d'ouvrages verticaux creusés dans la roche
 - Comme pour le stockage géologique, isoler les déchets des phénomènes naturels de surface et de l'homme...
 - mais opérations depuis la **surface** et profondeur peut être supérieure
- 1) Immobilisation de déchets exothermiques par **fusion de la roche**



France : essais Polynésie
→ REX, sans suite

⊖ Concepts visant la fusion de la roche encaissante **abandonnés**

Le stockage en forages (2)



- Déchets au fond d'ouvrages verticaux creusés dans la roche
 - Comme pour le stockage géologique, isoler les déchets des phénomènes naturels de surface et de l'homme...
 - mais opérations depuis la **surface** et profondeur peut être supérieure

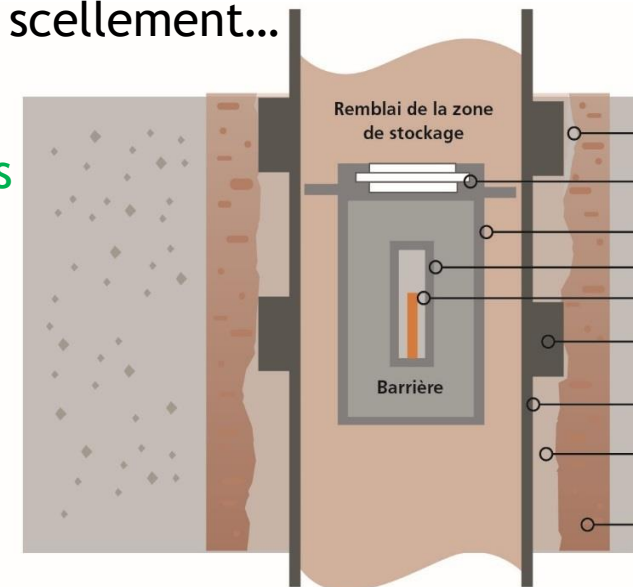
2) Empilement de colis de déchets solides dans un forage

- 🌐 1^{er} concept aux **États-Unis**, 1957 : Déchets au fond de forages de 5 000 m
- 🌐 Importants progrès techniques depuis 1980 → regain d'intérêt

■ **Besoin en connaissances** : creusement, manutention, scellement...

- ✓ Projet de forage scientifique 5 000 m aux **États-Unis**
- ✓ Guide **AIEA**, 2009 / petits volumes de déchets
- ✓ Veille par **Royaume-Uni**, **Suède**, **Belgique**, **Allemagne**...

Non étudié en France



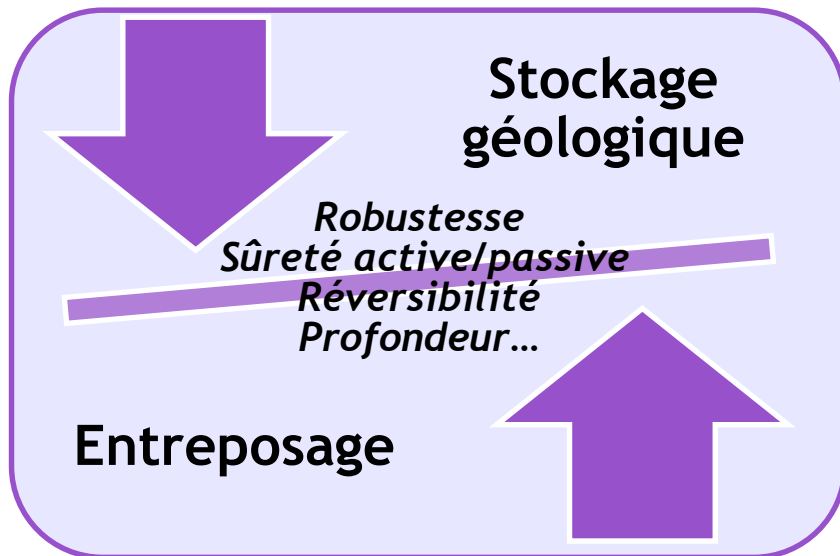
L'entreposage



- Mettre les déchets en lieu sûr pendant une **durée fixée**
 - les retirer (Code de l'environnement) ≠ **stockage** : définitif
 - **Sûreté active** : intervention humaine ≠ stockage après fermeture
- 1) Entreposages « **de longue durée** » : centaine(s) d'années
- 2) Entreposages « **pérennes** » : intacts sur de très longues durées

⇒ Laisser le choix/transférer la responsabilité aux **générations futures**

🌐 Examens jusque 2004-2006 (**Royaume-Uni**, **Canada**, **Suisse**, **France...**), conférence **AIEA**



En France :

Etudes CEA 1991-2005 :

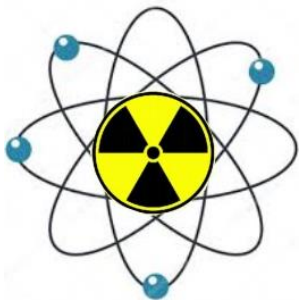
- Concepts surface et faible profondeur, 300 ans

Entreposages souterrains

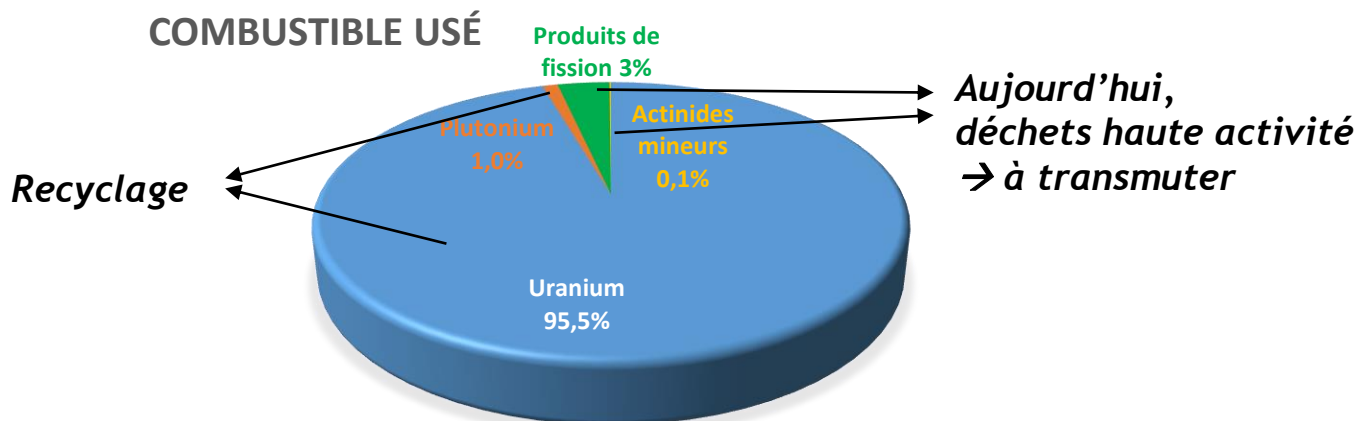
- transformable en stockage géologique
- moyen terme + poursuite recherches
- pour le combustible usé...

✓ Option « d'attente » en **Italie**, **Pays-Bas...**

La séparation-transmutation (1)



- Rendre des atomes HA-VL moins nocifs/moins longtemps



- **séparer** ces éléments (procédés hydrométallurgiques ou pyrochimiques)
- **fabriquer** les cibles de transmutation ou les combustibles
- Transmutation = **transfo d'un atome en un autre** / modification de son noyau

⇒ Nécessite des **installations nucléaires** spécifiques

Produits de fission

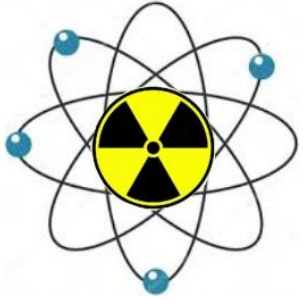
🌐 Transmutation par capture d'un neutron « lent » (comme dans les réacteurs français actuels) → essais réalisés

En France :
Etudes CEA 1991-2005

⊖ Séparation complexe, rendements de transmutation faibles, sûreté des réacteurs → **études non poursuivies**

La séparation-transmutation (2)

Actinides mineurs



Transmutation par capture d'un **neutron « rapide »** puis fission

⇒ **Plusieurs manières de produire ce type de neutrons :**

- **Réacteurs à neutrons rapides = RNR**

- 🌐 De nombreux réacteurs à neutrons rapides ont fonctionné
 - ✓ 4 en fonctionnement (**Russie, Inde, Chine**) + multiples projets...
 - Nécessite un **nouveau parc de réacteurs**, longue durée

- **Système dédié « accélérateur + réacteur » = ADS**

- 🌐 Recherches diverses équipes dans le **monde** ('80-'90)
 - ✓ Projets en **Chine, Corée du Sud, Inde, Belgique** (Myrrha)
 - **Multi-recyclage** nécessaire

- **Système dédié « laser + réacteur »**

- ✓ Equipe Mourou (**France**) : accélérateur d'ions deutérium entraîné par laser
→ fusion ions deutérium → neutrons → réacteur à sels fondus
- **Verrous technologiques** pour chaque étape ainsi que pour les combiner

⇒ **Transmutation en réacteurs « nouveaux » → Recherche**

En France :

- REX Phénix et Superphénix
- Projet ASTRID (RNR sodium)

- Participation au projet Myrrha

Merci !