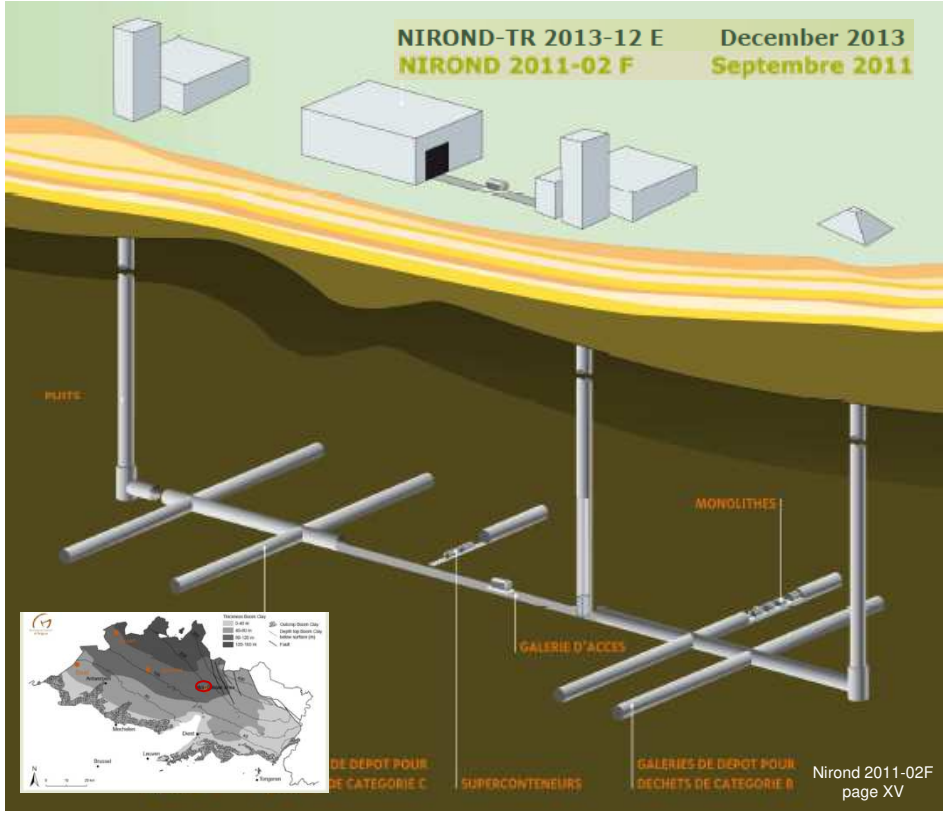
**Principales sources documentaires :**

ONDRAF/NIRAS

ANDRA

# Projet belge : Site d'enfouissement de MOL




Nirond 2011-02F page XV

## Approche de compréhension des risques de l'installation

**Déchets – Propriétés**
**Argile – Caractéristiques**
**Infrastructure – Conception**
**Risques principaux**
**Enseignements et suggestions**

Bruxelles, le 21 novembre 2018
Intervention au Parlement fédéral de Belgique

A l'initiative de GREENPEACE

**Festival les BURE'LESQUES**
9–10–11 août 2019 à Hévilliers en Meuse

Bertrand THUILLIER

**Sources documentaires :**

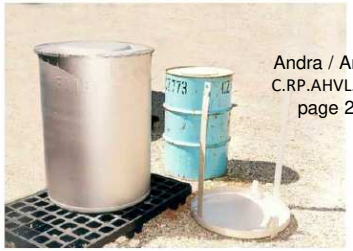
ONDRAF/NIRAS ANDRA

# Déchets B (MA-VL) – Volumes et Propriétés

(Cigéo : 73 600 m³)

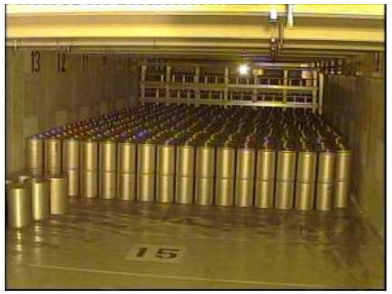
## 10 430 à 11 000 m³ mais :

**+ 85 000 m³ non conditionnés et stockés à Olen (Umicore)**
**16 600 sur 35 000 environ sont des colis bitumineux**



Andra / Argile 2009
C.RP.AHVL.09.O1 14 ,
page 21 & 39

*Détail des composants du colis type B2.2 (surfût inox, fût primaire en acier non allié et panier)*



*Entreposage des fûts inox STEL en casemate n° 14 à Marcoule*

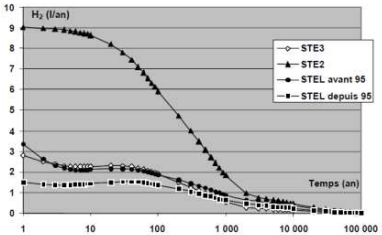
**Présence de bitume : 3 200 t. de bitume pur**

. Augmentation de volume (jusqu'à 70%)
. Matériau combustible – Risque d'incendie

**Génération d'hydrogène : 150 à 200 m³ / an**

. Gaz explosif (1 m3 équivalent à 2 kg de TNT)
. Gaz inflammable (LIE = 4%)

LIE : Limite Inférieure d'Explosivité




*Volume d'$H_2$ produit par auto-irradiation des enrobés de bitume d'activité moyenne (conditions TPN) (Vistoli, 2003)*

7.1.1.8 Production de gaz

L'auto-irradiation des enrobés de bitume engendre une production de gaz, majoritairement de l'hydrogène ($H_2$), ainsi que des traces de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de carbone ($CO_2$) et de méthane ($CH_4$).

Andra / Argile 2009 C.RP.AHVL.09.O1 14 page 37 et 66

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

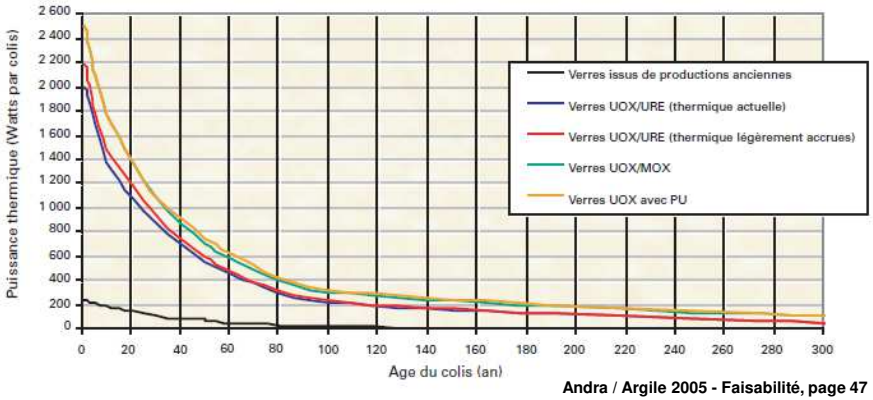
ONDRAF/NIRAS ANDRA

# Déchets C (HA-VL) – Volumes et Propriétés

(Cigéo : 10 054 m³ + CU : 68 500 m³ non compris)

## 4 500 m³ (Combustibles Usés compris), mais :

**Principalement UOX (Uranium Oxydes) : 10 250 / 11 000 environ**




Andra / Argile 2005 - Faisabilité, page 47

**Puissance thermique : 400 à 1100 W / colis**

. 400 à 600 W au bout de 60 ans
. 1 100 W au bout de 90 ans (avec MOX)

MOX : Mixed Oxydes, avec Plutonium

**Matières fissiles : 10 à 20 kg / colis**

. Plutonium 235 : 4 à 12 kg / colis
. Masse critique 235Pu : 510 g

**En cas de chute :**

Pour les colis de combustibles usés, l'endommagement des assemblages (désolidarisation des crayons, rupture des gaines…) et leur rapprochement suite à la chute de la cage pourraient induire un phénomène de criticité s'il y avait en plus une venue d'eau au sein des assemblages [55].

Andra / Argile 2005 - Architecture, page 478

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

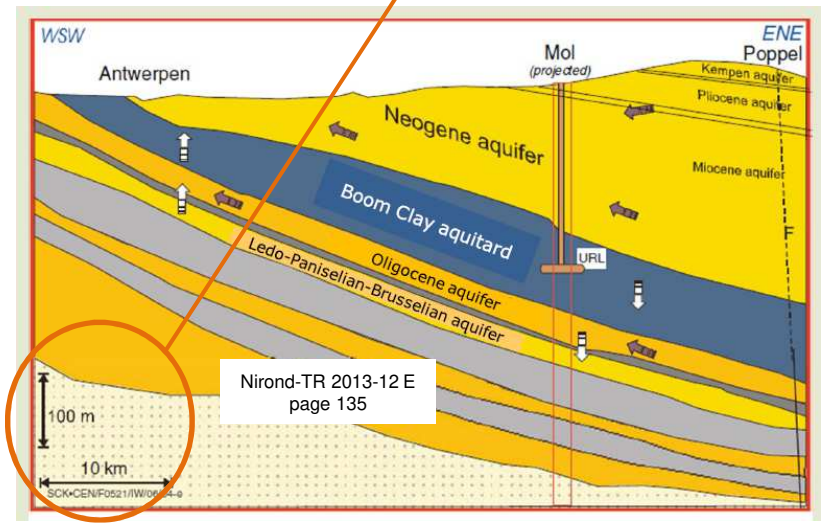
ONDRAF/NIRAS

# Couche géologique de l'argile de Boom - Situation

**Epaisseur de la couche : Environ 100 m**
**Profondeur : -190 à -290 m**

**Pendage de la couche : 1 à 2 % vers le Nord-Est**

**Sur 1 km, déviation d'horizontalité de 10 à 20 m (échelle haut x10 : 1 km et bas : 10 km)**




Nirond-TR 2013-12 E
page 135

**Couche peu épaisse pour une emprise de 55 m**

**3.1 km² -> 30 m (déviation) + 6+2 m (creusement) + 2 x 2,1 x 4 m (EDZ)**

EDZ : Excavation Damaged Zone

**Présence d'un important aquifère déjà exploité**

**. Première source d'eau potable dans la région Nord-Est**
**. Ne pas dépasser 25°C en température (soit moins de +10°C)**

the interface between the Boom Clay and the Neogene sands is between 14 and 15°C at the reference site for RD&D in the Boom Clay, the maximum admissible repository-induced temperature increase should not exceed 10°C in that area. This value is site-

Nirond-TR 2013-12 E, page 253

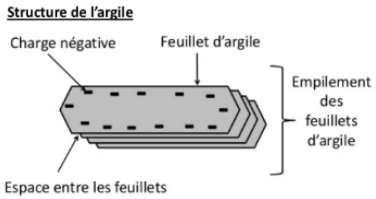
*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

ONDRAF/NIRAS · brgm · Université de Liège

# Argile de Boom - Caractéristiques

## Roche friable : Structures métalliques nécessaires



**. Roche non autoporteuse**
**. Structurée en feuillets**

## Roche saturée en eau : 19% à 24%

**Désaturation : Fissurations - Fracturations - Rétractations**

**Dessèchement de sols argileux :**

Dessiccation des sols

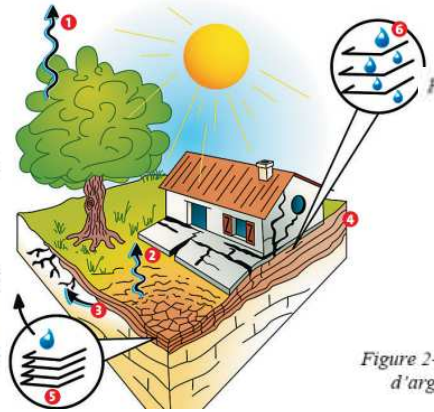



*Figure 5-14 : Observations macroscopiques de fissuration sur des échantillons d'argile de Boom soumis à désaturation*

**En cas de pression de gaz :**

Thèse de Pierre GERARD, Mai 2011

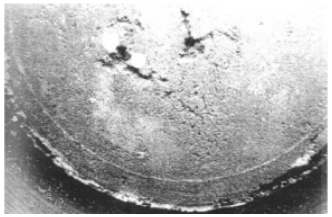


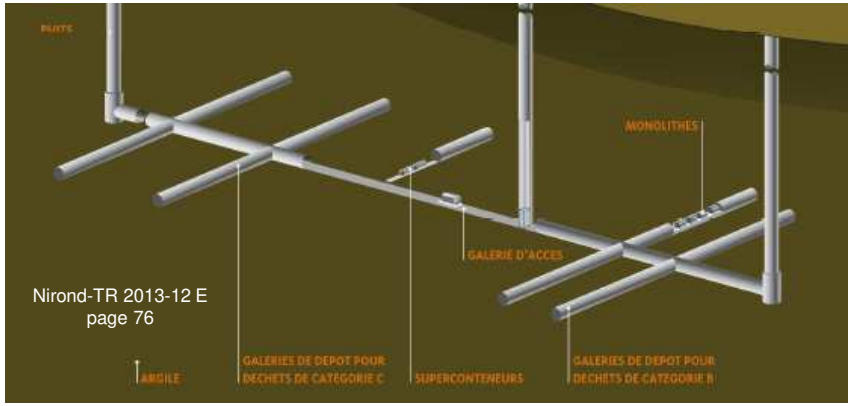
*Figure 2-46 : Mise en évidence expérimentale de chemins préférentiels d'écoulement du gaz sur un échantillon d'argile de Boom soumis à des paliers d'injection de pression de gaz croissante (Volckaert et al., 1995)*

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

ONDRAF/NIRAS

# Infrastructures – Installation souterraine




Nirond-TR 2013-12 E page 76

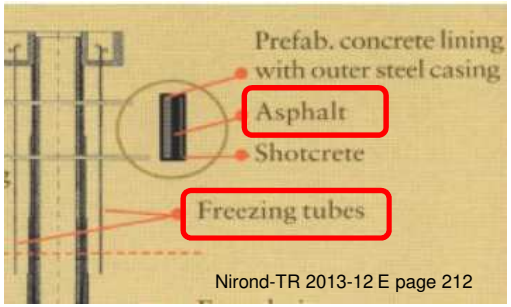
. Mise en place à environ -240 m
. 3 puits d'accès, un central pour colis (8 m Ø)
. Galerie centrale monotube (6 m Ø)
. Galeries de stockage perpendiculaires borgnes (3 m Ø)
. Total installation # 31 kms de galeries sur 3,1 km²

## Accès monotubes et étroits

plausible evolution scenarios (NEA, 2003). However, this assessment and its review also revealed possible weaknesses of the proposed solution, namely (1) the feasibility and in particular the operational safety were not very clear, i not questionable, and (2) the

Nirond-TR 2013-12 E page 69

## Perte d'étanchéité des puits : Asphalte - Gel

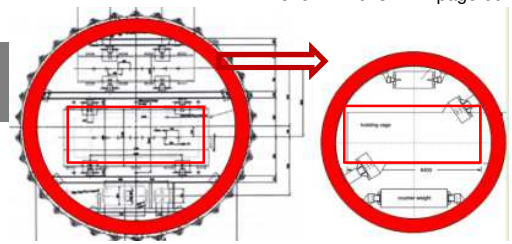



Nirond-TR 2013-12 E page 212

**Puits du laboratoire Hadès**

**Structure du puits envisagée et optimisée de 10 m Ø à 8 m Ø**

Nirond-TR 2013-12 E page 221



the area until a waterproof lining was installed. Following construction, some asphalt leakage was observed from the lining of the second shaft of HADES URF, requiring regular asphalt refilling.

Nirond-TR 2013-12 E page 212

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

ONDRAF/NIRAS — ANDRA

# Infrastructures – Colis et manutention

## Super-containers (C ou B) :

. Longueur : 4 à 6,2 m
. Diamètre : 2,1 m
. Poids : jusqu'à 70 tonnes

**1 à 4 colis primaires C**

Nirond-TR 2013-12 E page 71

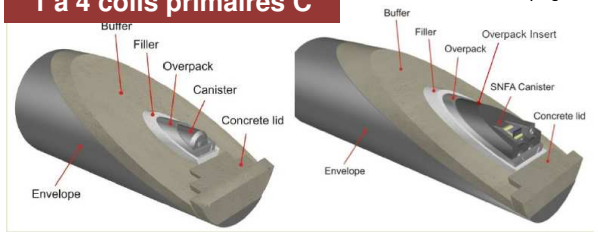



Figure 11 – Supercontainer for vitrified high-level waste (left) and UOX irradiated fuel (right).

Nirond-TR 2013-12 E page 74

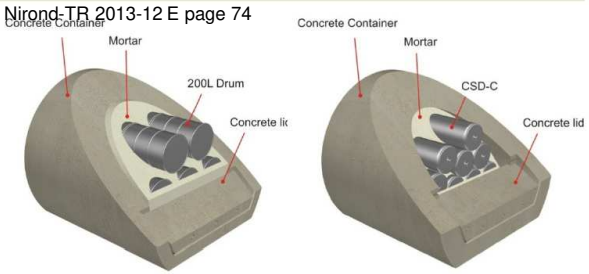


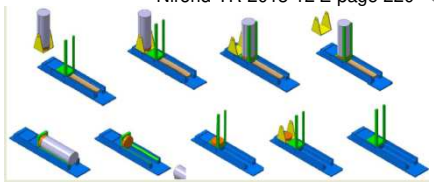

Figure 13 – Monolith B for category B waste (200 L drums) (left) and CSD-C (right).

## Compatibilité des espaces et des déplacements :

. Déplacements sur rails avec tournants à 90° ?
. Compatibilité espaces de manutention et conduits de ventilation ?
. Galeries et espaces de secours en cas d'éboulement / incendie ?

**Réception en fond de puits d'acheminement**

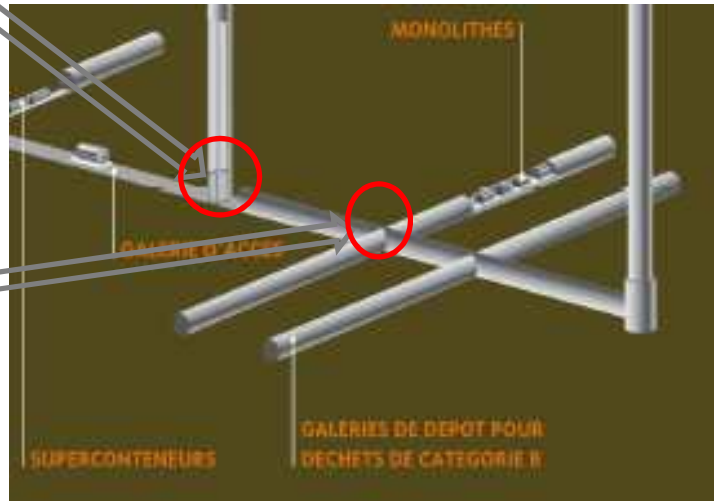
Nirond-TR 2013-12 E page 220



**Système de déplacement par vérin pour pousser les super-containers**

Andra / Argile 2005 - Architecture, page 356

Robot pousseur




*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

# Risques sur l'eau potable liés à l'épaisseur de la couche

## Risques concernant la possible migration des radioéléments

**Epaisseur de roche non perturbée # 22 m**

**Galerie + EDZ # 25 m**

**Déviation # 30 m**

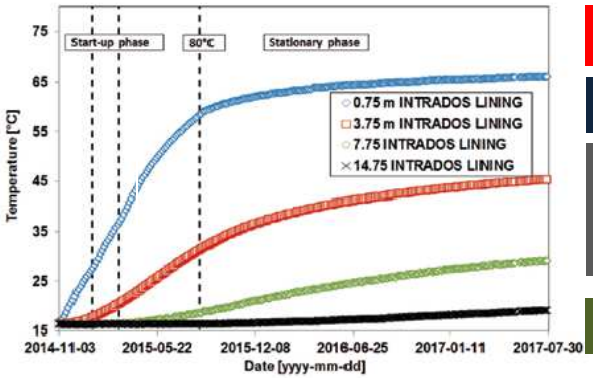
**Epaisseur de roche non perturbée # 22 m**

**Perméabilité augmentée de 4 à 5 facteurs en EDZ ***

Creusement galerie centrale : 6 m de diamètre -> 6,0 m
Soutènement : 2 fois 1 m+ de béton & armatures acier -> 2,0 m
EDZ : Endommagement du creusement : 2 fois 2,1 x rayon -> 16,8 m

* EDZ : Excavation Damaged Zone

Andra / Argile 2005 – Evolution phénoménologique, page 352




EURIDICE Report I ref. EUR_PH_ 17_043 I page 31

## Risques concernant l'impact en température (Perméabilité - Legionnella)

**Ne pas augmenter de 10°C en température (15°C -> 25°C)**

Expérimentation Praclay : 350W/m à 450W/m pour atteindre 80°
Augmentation constante de T°C au bout de 42 mois -> impacts à 15 m
Augmentation de la perméabilité avec l'augmentation de T°C

**Epaisseur de roche non impactée au bout de 4 ans # 19 m**

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

# Risques d'effondrement et d'ennoyage liés à la production d'hydrogène

**Eau + Rayonnements => Radiolyse de l'eau**

**-> Production d'hydrogène et éléments très corrosifs**

L'irradiation d'$H_2O$ conduit à deux radicaux libres hautement réactifs :
HO° (oxydant) et H° (réducteur), et à la libération d'un électron dit « aqueux ».

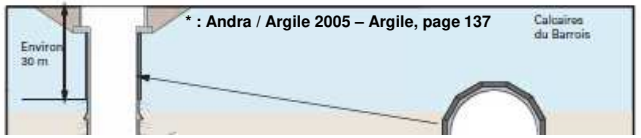
$$H^\bullet + OH^\bullet \rightarrow H_2O$$
$$OH^\bullet + OH^\bullet \rightarrow H_2O_2$$
$$H^\bullet + H^\bullet \rightarrow H_2$$

**Eau + Structures métalliques + éléments corrosifs => Corrosion de l'acier**

**-> Production d'hydrogène**

**Ventilation**

*la ventilation*, élément essentiel de la maîtrise des conditions d'hygiène et de sécurité.



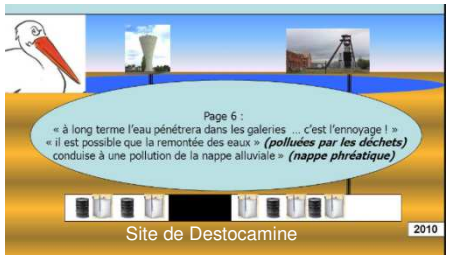

**Cigéo : 500 à 650 m³/s en ventilation**

**Désaturation : Fissurations - Fracturations - Rétractations**

*Figure 3-14 : Observations macroscopiques de fissuration sur des échantillons d'argile de Boom soumis à désaturation*

**Risques d'ennoyage à terme**

L'histoire du stockage de déchets ultimes à Wittelsheim




Dernière modification : 09/04/2013 Environnement

**Un dépotoire nucléaire menace la région de Basse-Saxe**

En Allemagne, une course contre la montre se joue en Basse-Saxe. Ces cinquante dernières années, 126 000 barils de déchets nucléaires ont été stockés dans les mines de sels de la région.

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

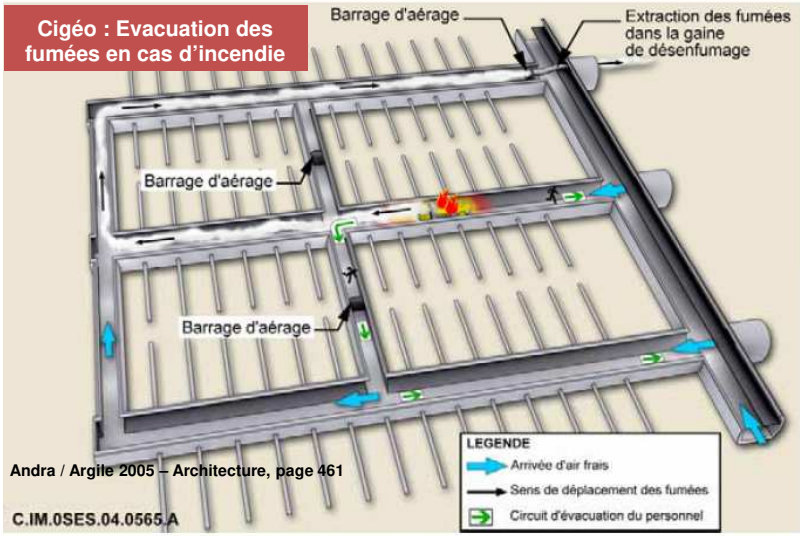
**Sources documentaires :**

ONDRAF/NIRAS

ANDRA

# Risques d'explosions et de sécurité liés à la conception

**Cigéo : Evacuation des fumées en cas d'incendie**




Andra / Argile 2005 – Architecture, page 461

**Difficile évacuation de la chaleur et sensibilité de l'argile à la T°C : Impérativement ne pas dépasser 90°C / 100°C !**

## Risque d'explosion nucléaire en cas de chute en puits

Chute de colis de 70 tonnes sur 250 m : Perte de géométrie sous-critique

## Risque de contaminations par la co-activité travaux et stockage

Non séparation des deux activités : Compatibilité avec la mise en place de filtres THE ? (Très Haute Activité) – Poussières et rejets radioactifs

## Risque de sécurité en cas de besoin d'évacuation

Galeries monotubes et optimisation du diamètre des puits :
Accès pouvant être bloqués – Pas de solution d'évacuation

## Risque d'incendie par la difficulté de ventiler les galeries

Galeries étroites et borgnes :
Risques d'accumulation d'hydrogène (et présence de bitume)
Capacité à extraire des fumées – Gaines de désenfumage ?

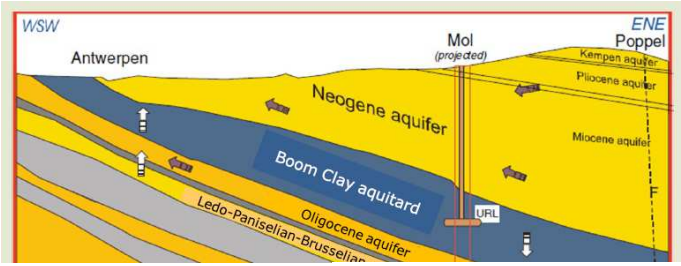
*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

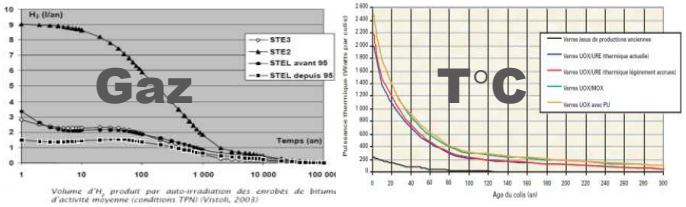
**Sources documentaires :**

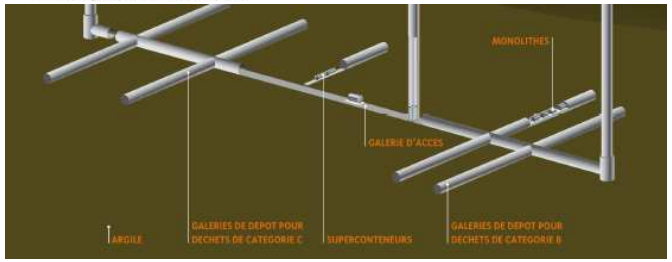
ONDRAF/NIRAS

ANDRA

# Quatre enseignements principaux




**1. L'argile est la pire roche pour enfouir des déchets radioactifs : Teneur en eau et friabilité ➔Production d'hydrogène ➔Ventilation ➔ Désaturation ➔Fissuration / Fracturation ➔Eboulements ➔ Ennoyage ➔Migrations & Contaminations !**

**2. La couche de roche envisagée (à Mol) s'avère bien trop peu épaisse en considérant l'emprise d'une telle installation**

**3. La production de gaz et la puissance thermique des colis de type 'C' restent bien trop élevées pour un enfouissement souterrain avant une centaine d'années**

**4. La conception de l'installation, telle que communiquée à ce jour, semble bien peu appropriée pour répondre aux nombreuses questions de sûreté en exploitation**

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

**Sources documentaires :**

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# En final, trois suggestions face à ces enseignements …

**1. Mettre en œuvre des solutions d'attente, de moyen terme, sécurisées de type stockage à sec pendant au moins cent ans (Orano TH – Holtec International …)**

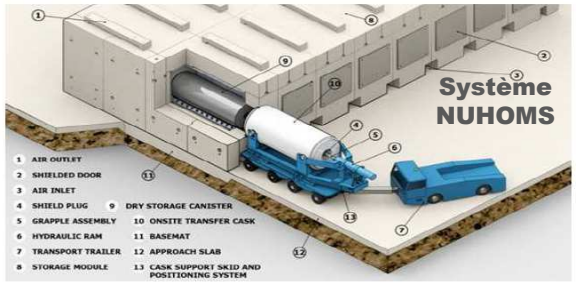



*Figure n°1* : Schéma de l'entreposage à sec de type NUHOMS développé par Orano TH sur le de San Onofre (Etats-Unis) – Source : IRSN.

**2. Laisser du temps à la science pour faire apparaître de vraies solutions de traitement des déchets radioactifs :**

**Avec le laser, "On peut réduire la radioactivité d'un million d'années à 30 minutes" Gérard Mourou, prix Nobel de physique** La Tribune.fr – 08/10/2018

Par **Benoît Tonson, The Conversation** | 03/10/2018, 18:33 | 845 mots

**3. Transmettre aux générations futures :**
**. Des apports fiables, crédibles, et représentatifs en connaissance scientifique**
**(Cf. expérimentation Praclay)**
**. Des apports en capitaux réels et suffisants**
**(Cf. gestion des fonds Synatom)**

Sealing the PRACLAY experiment

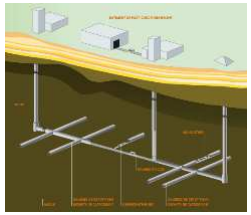
SYNATOM
Analyse critique de la Société belge des combustibles nucléaires

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*

# … Des projets qui reculent et des suggestions qui avancent !

**En Février 2018, Niras/Ondraf actualisait son plan d'enfouissement pour un lancement du projet d'enfouissement en 2020 sans autre consultation !**

ONDRAF/NIRAS



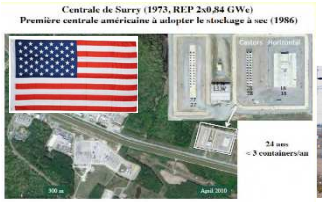
**Fin novembre 2018, le gouvernement impose à Niras/Ondraf une nouvelle procédure d'agrément et de consultation, sous la menace d'une nouvelle loi !**

**Mars 2019, le conseil d'administration de Niras/Ondraf décide alors de débuter la préparation de cette procédure pour 2020 !**

**Aux dernières nouvelles (de Greenpeace Belgium – juillet 2019), un débat public sera bien organisé en 2020 sur la question de la gestion des déchets avec la remise en question du site de Mol !**

**Merci à** GREENPEACE

**… Et dans l'intervalle, les alternatives à l'enfouissement se développent à l'étranger en 2019 :**




Unités Macstor à Gentilly-2, Canada

**➡ Entreposage de longue durée sur les lieux de production**

*Bertrand Thuillier, 10 août 2019*