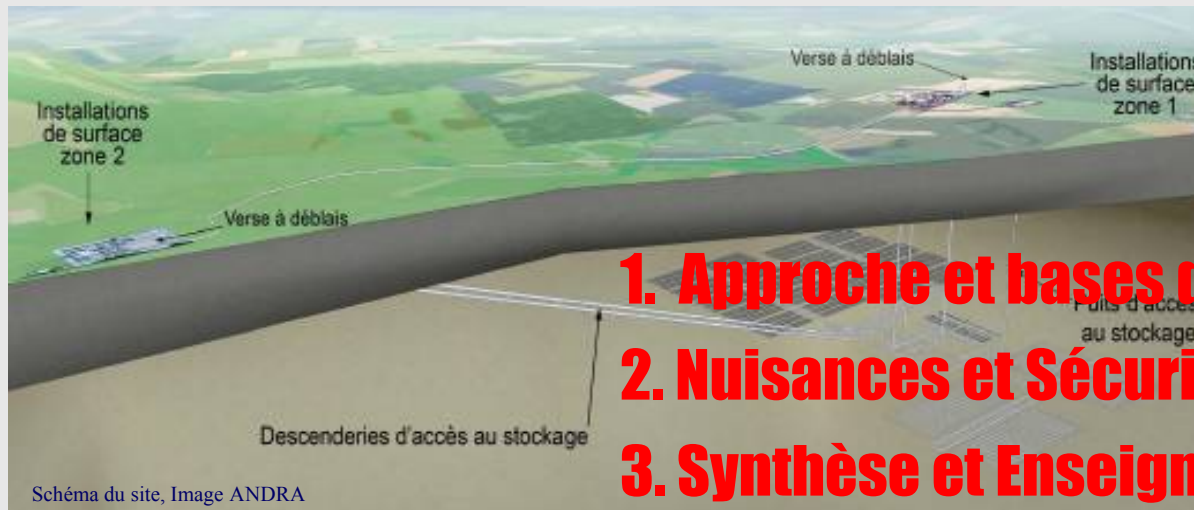


# Risques dans l'exploitation du stockage Cigéo

(Centre Industriel de stockage Géologique pour les déchets HA et MA-VL)



**Bertrand Thuillier**

**Ligny-en-Barrois - 13.06.2012**

Page 1 / 35

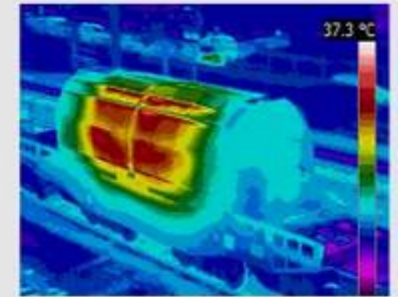


Image d'illustration

**1. Approche et bases de l'étude**  
**2. Nuisances et Sécurité**  
**3. Synthèse et Enseignements**  
**Questions & Débat**



Image d'illustration

## Approche

# Données initiales et démarche

Lecture attentive des  
dossiers de l'ANDRA

Démarche structurée,  
factuelle, et ... du bon sens

- 1. Reprise des documents du dossier Argile 2005**  
266.pdf, 268.pdf, 269.pdf, 270.pdf, 374.pdf (1994 pages)
- 2. Reprise des documents du dossier Argile 2009**  
Réversibilité, zira, référentiels1,2,3, entreposage, conception, réversibilité, sûreté (1721pages)
- 3. Annotations en première lecture** suite à une lecture attentive et critique
- 4. Saisie en deuxième lecture et thèmes** : saisie en base de données avec indication des thèmes traités
- 5. Tri et rapprochements** selon ces indexations et examen des thèmes les plus fréquents



<http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/266.pdf>

<http://www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/268.pdf>, ...

Image d'illustration

## Approche



# Exemple de textes extraits et triés

Thèmes

Référence document Andra

Références : pages

Recopie du paragraphe

Question

Hierarchisation

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Thèmes abordés	Tome	Page	Page-ref2	Page-ref3	Page-ref4	Texte Andra	Commentaires BT	Importance
Incendie	A5_T1	29				L'Andra a porté une attention particulière au risque d'incendie, pour lequel le contexte souterrain peut être un facteur aggravant ... la prévention passe par le contrôle et la limitation des produits inflammables	En cas d'incendie, quid du stockage des colis bitumineux ?	Important
Criticité, Incendie	A5_T1	30				Le risque de criticité est lié à une réaction nucléaire en chaîne non contrôlée ... Pour s'affranchir de ce risque, l'agencement des assemblages dans les colis maintient une géométrie sous-critique et l'on recourt à des procédés de traitement à sec, c'est-à-dire sans apport d'eau qui favoriserait une réaction de fission ... les événements susceptibles d'induire un risque de criticité correspondent à la conjonction d'un fort endommagement accidentel des colis de CU suite à leur chute et à une arrivée d'eau.	En cas d'incendie, nécessité d'extinction par eau, et alors risque de criticité, sinon endommagement des structures et perte de confinement des colis en bitume ...	Important
Hydrogène, Incendie, Rejets gazeux	A5_T1	111	112			Les colis primaires de déchets B ... environ 200 000 colis primaires ... environ 80 000 m <sup>3</sup> ... le volume représenté ... la recherche de compacité du stockage a conduit à ne pas intégrer de protection radiologique aux conteneurs ... Du fait de l'absence de fonction de radioprotection intégrée aux colis de stockage, leur mise en place et leur retrait éventuel ainsi que les opérations de surveillance et de maintenance doivent être téléopérées ... L'accumulation excessive d'hydrogène dans le conteneur entraîne un risque de rupture des colis, il doit donc être conçu pour laisser s'échapper l'hydrogène ... une attention particulière est portée à la maîtrise des risques liés à la présence d'hydrogène dans l'air des alvéoles et des galeries.	Entraînement des radioéléments dans la ventilation des galeries - dangerosité extrême et risque d'explosion en absence de ventilation	Très important

## Etude



# Contenu de l'étude

## Impacts directs dès la mise en exploitation : 2025 ?

### 1. Nuisances :

- . Rejets gazeux
- . Transports
- . Emprise

### 2. Sécurité :

- . Risques pour le personnel
- . Risques d'explosion
- . Risques d'incendie

### 3. Aspects économiques :

- . Coûts directs du site
- . Coûts potentiels et réversibilité
- . Coûts environnementaux et d'image



**Base textes « Andra »  
uniquement**

Image d'illustration

## Nuisances

# Travaux et ressource en eau



« le total des volumes excavés par an se situe à **550 000 m<sup>3</sup>**, soit un total de **825 000 m<sup>3</sup>** à transporter... les flux de béton représentent environ 50% des flux d'excavation », soit **plus de 275 000 m<sup>3</sup> de béton** à fabriquer, également tous les ans.»



Image d'illustration



Image d'illustration

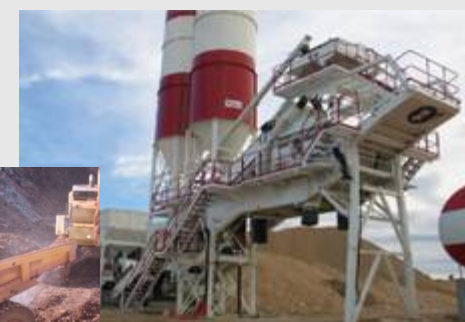


Image d'illustration



Image d'illustration

« **L'assèchement de puits fermiers** ou de sources constituent toujours un impact dont la portée psychologique ne peut être négligée. »



## Nuisances

# Transports : Très nombreux

« Les premiers colis primaires HA pourront être réceptionnés **dès la première décennie d'exploitation...** On estime que le terminal ferroviaire devrait pouvoir accueillir entre 700 et 1000 emballages par an (1000 arrivées et 1000 départs), soit **100 convois de 10 wagons** »

**-> Soit 10 000 trains de 10 wagons au total**



Image d'illustration



Image d'illustration

**Passage par les gares de Meuse et de Haute-Marne  
Contaminations et accidents ? ...**



Image d'illustration



## Nuisances



# Contaminations des colis

« En 2007 des analyses réalisées sur 110 colis (B3.3.6) ont cependant révélé une contamination significative (**supérieure à 4 Bq/cm<sup>2</sup>**)\* pour 36 colis... La contamination moyenne relevée sur **ces 36 colis était de 126 Bq/cm<sup>2</sup>** et la contamination maximale de **1 000 Bq/cm<sup>2</sup>** ...

Cette contamination avait pour origine la présence de **corrosion perforante** sur certains colis ou encore des **soudures de couvercles présentant des défauts**. »



Image d'illustration



Conteneur en acier non allié, image ANDRA

**Contamination par les transports**  
**Contamination des installations**

\* 21 Mrds de Bq selon la réglementation

## Nuisances

# Les rejets gazeux : Pourquoi ?

« 171 530 colis B (MAVL) dont 74 370 d'enrobés bitumineux, et 85 660 produisant plus de 9 L/an/colis d'hydrogène »

« Considérant que l'accumulation excessive d'hydrogène dans les **conteneurs B** (par radiolyse) peut entraîner un risque de rupture des colis, ceux-ci sont donc **conçus pour laisser échapper l'hydrogène** »

« Ces déchets sont constitués de boues issues du traitement chimique d'effluents liquides radioactifs, séchées et enrobées dans du bitume ... **Ces enveloppes sont fermées de manière non étanche** à l'aide de couvercles clipsés »



Conteneurs acier non allié 870 L, Image ANDRA



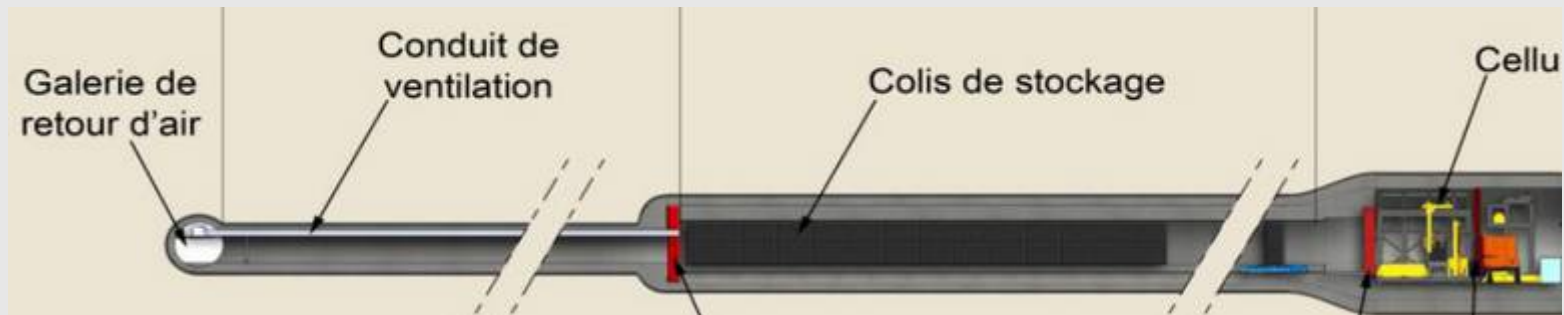
## Nuisances



# Pas de filtres !

« Les **gaz radioactifs** qui peuvent être relâchés par les colis de déchets MAVL (tritium, krypton 85, carbone 14, chlore 36)\* **sont totalement évacués par l'air de ventilation** »

« L'installation d'un étage de filtres industriels à l'introduction d'air et d'un étage de **filtration "très haute efficacité" (THE)\*\* à l'arrière de l'alvéole ... rendraient plus complexes** la configuration du réseau d'aéragé. »



Alvéole MAVL, Image ANDRA

\* : + **Radon 222, Iode 129, Argon 39**

\*\* : Division par environ 500 de la teneur en aérosols ( $10^{-9}/10^{-5}$  m)

## Nuisances

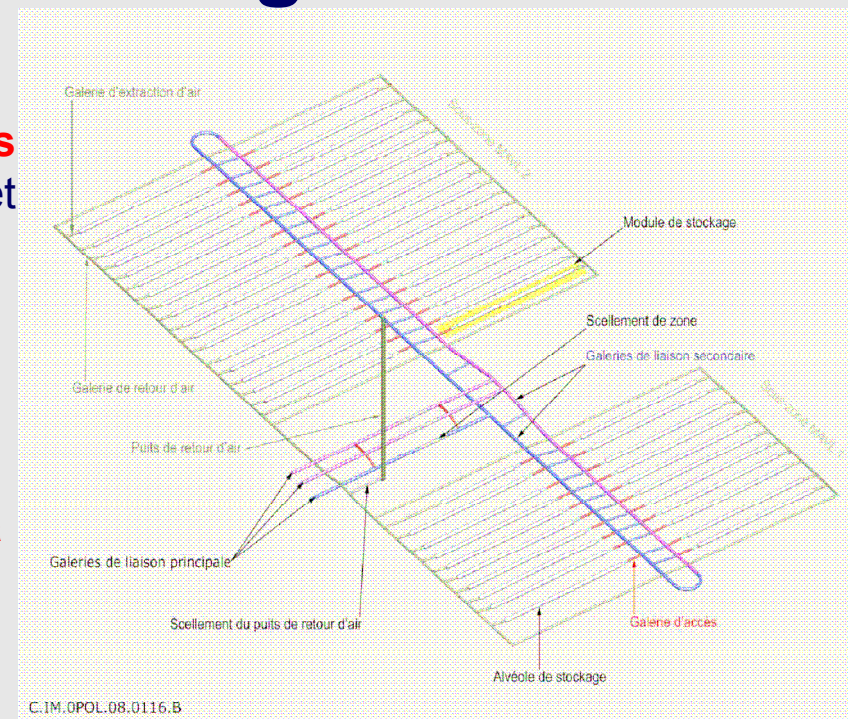


# Tout le stockage !



« **Les alvéoles de déchets B sont ventilées** durant toute leur phase d'exploitation, et jusqu'à leur fermeture.

La durée de ventilation après mise en stockage pourra varier entre le temps nécessaire au remplissage de l'alvéole (fermeture immédiate) et **quelques années à plusieurs dizaines d'années, voire davantage** »



C.1M.OPOL.08.0116.B

Exemple d'architecture d'une zone MAVL, Image ANDRA

## Nuisances



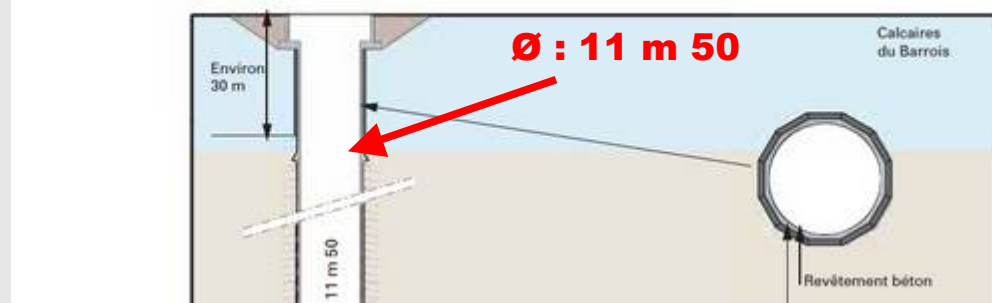
# Considérables : 1,8 millions m<sup>3</sup>/h !



« Deux puits de retour d'air, l'un dédié spécifiquement à la zone de déchets MAVL, le second assurant le retour pour le reste des installations.... »

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

«... Ils permettent d'évacuer les débits d'air vicié importants mis en jeu (plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/s)\* et l'évacuation des fumées en cas d'incendie »



Section d'un puits de retour d'air, Image ANDRA

- 500 à 650 m<sup>3</sup>/s, soit des puissances de 3 à 6 MW

**Concentration des rejets des alvéoles**  
**Pas de filtres THE (Très Haute Efficacité)**  
**Pollution proche et lointaine, continue**

## Nuisances



# Manutention et chutes



« La **manutention** des colis primaires pourrait être la cause de leur **chute et de leur endommagement**. Les conséquences envisageables seraient une ouverture d'un (des) colis primaire(s) et une **dispersion de matières radioactives dans les installations**, puis **dans l'environnement, via les circuits d'extraction d'air** »

« le colis de boues bituminées n'est pas totalement à l'abri d'une **défaillance du sertissage** de son couvercle et de son **ouverture en cas de choc**. »

« ... (lâchés de 1,2 m).. **L'étanchéité du couvercle est rompue**. »

**Et toujours, une évacuation par la ventilation !**



Conteneur en béton CIPG, image ANDRA

## Nuisances



# Entreposage en surface en plus !

« Certains besoins au-delà de 2025 pourraient être assurés par des **capacités d'entreposage intégrées au centre de stockage**, au lieu de la création ou de l'extension d'installations sur les sites de production ou de conditionnement...»

« Enfin, **doter le site de stockage de capacités d'entreposage**, en complément à celles du site de la Hague, serait susceptible d'accroître la flexibilité de gestion d'ensemble des colis. »

« **La gestion des flux de colis ne prévoit pas d'entreposage sur le site de Cigéo** susceptible de se substituer à celui des producteurs, mais uniquement l'existence d'un entreposage "tampon" pour accueillir les colis de déchets qui seront en flux tendu. » CNE5, 11/2011 - page 21



Colis en entreposage, image ANDRA



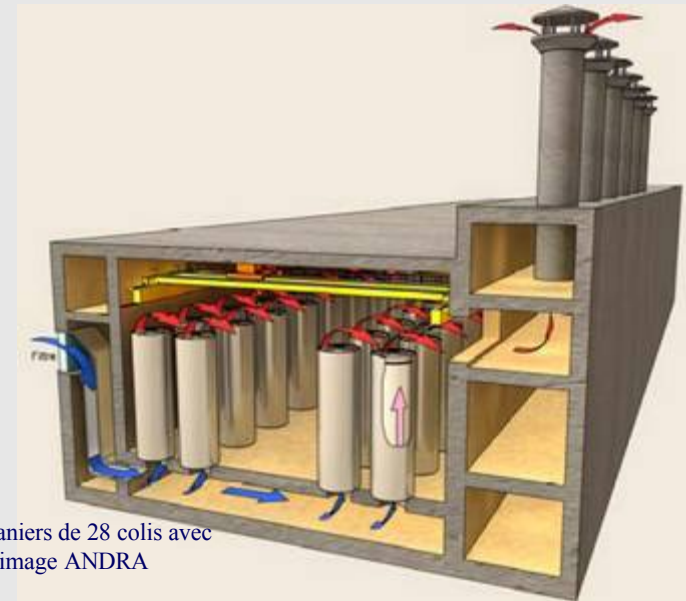
## Nuisances



# Entreposage déjà décidé !



« Une mise en conteneur de stockage des colis primaires sur le site de la Hague conduirait à augmenter les besoins en emballages de transport ... **on supposera donc dans la suite que cette opération est effectuée sur le site de stockage** ...il avait été décidé de considérer l'ensemble des déchets HA vitrifiés ... soit **36 040 colis** »



Entreposage vertical\*\* en paniers de 28 colis avec convection naturelle, image ANDRA

**Ajout et concentration de structures nucléaires de surface \* : conditionnement, traitement, entreposage et refroidissement**

\* : 1 500 ha achetés ou réservés via la Safer  
: Cf. JO /décret n° 2012-542 du 23/04/2012 – p.16

\*\* Modules de 3 600 à 10 800 colis

# Une explosion ?



Image d'illustration



Image d'illustration



Image d'illustration



Image d'illustration, Hindenburg



Image d'illustration



Image d'illustration



Image d'illustration

**Electricité, hydrogène, souterrain, explosion, batteries, fumées, incendie**

## Sécurité

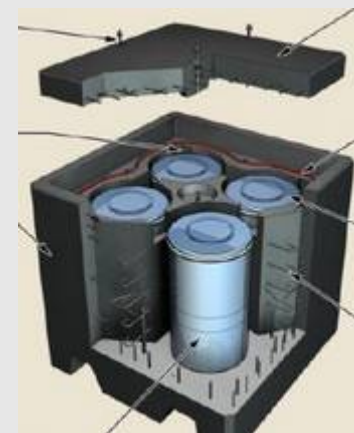
# Risque d'explosions : pourquoi ?



**Production d'hydrogène estimée  
(uniquement par les colis) : 1 million L/an**

« Une explosion peut survenir, en présence d'une source d'ignition, si la concentration dans l'air du gaz dépasse sa Limite Inférieure d'Explosivité - La LIE est de 4% pour l'hydrogène et de 5% pour le méthane »

« Il est prévu d'évacuer l'hydrogène par le béton du couvercle et/ou de la paroi du colis... voire par des événements positionnés dans le haut du corps du colis si nécessaire. Une explosion pourrait entraîner la perte d'une fonction de confinement »



Conteneur de stockage, image ANDRA



Image d'illustration

## Sécurité



# Maintenance lourde incertaine !



« Les délais disponibles pour rétablir la ventilation en cas d'un arrêt de ventilation avant d'atteindre le critère de 1% d'hydrogène dans l'alvéole sont variables, et pour une alvéole de colis B4.1 relâchant 100L/fût/an ... **le délai disponible est à une valeur inférieure à 6 jours** »

« Les délais pour réaliser une intervention importante dans un milieu confiné difficile d'accès sont à estimer pour différents scénarios dégradés afin d'**être en mesure de se prononcer sur leur compatibilité avec la maîtrise du risque d'explosion** »



Image d'illustration



Image d'illustration

## Sécurité



# Contrôles délicats !



Image d'illustration



Image d'illustration

## Observation compromise : suivi du stockage ?

« C'est aussi, la mise en oeuvre du **système d'auscultation (qui) veillera à éviter la production d'étincelles**, notamment dans les alvéoles susceptibles de produire de l'hydrogène... notamment des batteries permettant une transmission sans fil, sont plus particulièrement concernées par ce risque »



## Sécurité



# Fermeture à hauts risques des alvéoles



« La durée des opérations de **fermeture des alvéoles peut conduire à une formation d'atmosphères explosives au sein de l'alvéole en raison de l'arrêt de la ventilation.** »

« Cette situation présente un risque d'explosion qui pourrait endommager les équipements et blesser le personnel en charge de ces opérations.»



Scellement d'une alvéole MAVL, image ANDRA

**Difficulté certaine et dangereuse des scellements !**



## Autres types d'explosions ? fission nucléaire

« Les combustibles usés contiennent une masse de matière fissile résiduelle qui nécessite dans la conception du conteneur, de s'assurer de l'absence de risque de criticité ... un combustible CU2 (MOX) contient lui de l'ordre de 20 kg de matière fissile résiduelle dont plus de 80% de plutonium, et en particulier 12 kg de Pu 239 ... pour mémoire, la masse critique du Pu239 est de 510 g »

**Présence de masses critiques des colis CU\* (Combustibles Usés)**

•: 5 400 CU2 (S1b & S1c) / 54 000 CU1 et 4 000 CU2 (S1c)  
5 460 CU en inventaire 2009

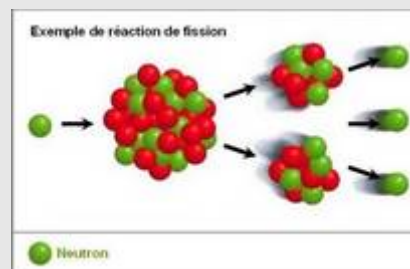


Image d'illustration



Image d'illustration

## Sécurité



# Eau et chute de colis CU !

« Le risque de criticité est lié à une réaction nucléaire en chaîne non contrôlée .. Pour s'affranchir de ce risque, l'agencement des assemblages dans les colis maintient une géométrie sous-critique et l'on recourt à des procédés de traitement à sec, c'est-à-dire sans apport d'eau qui favoriserait une réaction de fission ...

« Les événements susceptibles d'induire un **risque de criticité** correspondent à la **conjonction d'un fort endommagement accidentel des colis de CU suite à leur chute et à une arrivée d'eau.** »



Véhicule de transfert colis HA, descenderie, image ANDRA

Cf. accident de Tokaï Mura du 30 sept. 1999

## Sécurité



# Risque d'incendies : Pourquoi ?

« Dans la zone de stockage MAVL ... **la situation d'incendie est plus difficile à écarter** et fera l'objet de simulations complétées d'essais d'ici à la DAC »

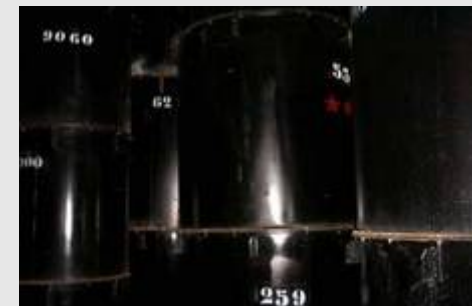


Image d'illustration

- Colis B2.2, B2.3, B2.5 : 40 à 50% de bitume
- Asphalte : 5 à 6% de bitume (1 tonne # 70 m<sup>2</sup>)

**Stockage de 74 370 colis bitumineux\*  
(soit 9 700 tonnes de bitume pur)**

**Enrobé bitumineux :  
Auto-inflammation à  
350°C**



Conteneur en acier non allié, image ANDRA

## Sécurité



# 2 heures pour se sauver !

« La conception des galeries devra permettre leur résistance au feu pour **ne pas aggraver les situations d'incendie envisagées...** La structure-porteuse des installations du **fond est conçue pour rester stable au feu 2 heures** et n'être que faiblement altérée par un incendie... »

« la tenue au feu des murs, structures et galeries sera supérieure à **2 heures pour l'évacuation de personnel, l'accès des secours et la protection des équipements sensibles** »



« le retour d'expérience sur des incendies en milieu souterrain donnent des températures généralement **comprises entre 800 et 1 200 °C** »





# Incendie : Quels tests !

« Un essai de tenue au feu a été **réalisé sur deux éprouvettes en "ciment-bitume"**. La combustion d'une nappe de kérosène a permis d'exposer les éprouvettes à un feu dont la température moyenne des flammes était de 800°C, pendant 30 minutes. ... Des fissures plus ou moins importantes apparaissent, ce qui indique que le **pouvoir de confinement ne serait plus le même en cas d'incendie.** »



Image d'illustration,  
éprouvettes « béton »

Image d'illustration,  
impact du feu sur le béton :  
écaillage





## Catastrophe annoncée !

« Les incertitudes sur les résultats des simulations thermiques impliquant l'incendie d'un **véhicule transportant un colis de stockage d'enrobés bitumeux, ne permettent pas à ce stade de s'affranchir du risque de relâchement radioactif en cas d'incendie** »



**Et il faudra continuer à ventiler !**

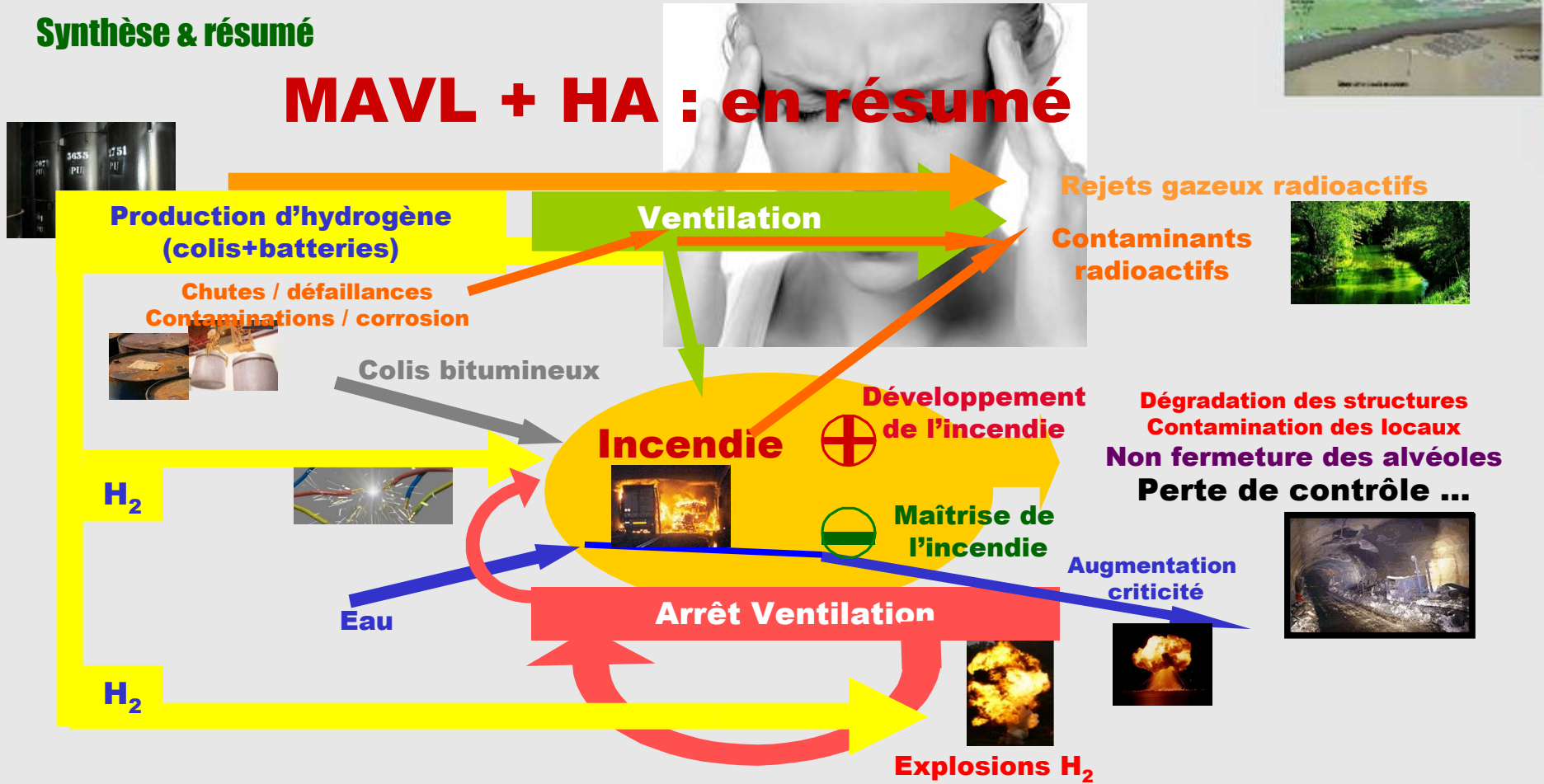
Image d'illustration, tunnel sous le Mont-Blanc



\* :Activité 4 colis B2.2 ou B2.3

# Synthèse & résumé

## MAVL + HA : en résumé





# Un projet finalisé ?

Projet apparaissant **non abouti**, conduisant à un **flou certain** beaucoup **trop de questions**, et déjà en exploitation :

- . Contrôle de la **conformité** des colis ?
- . Présence certaine de **combustibles usés** ?
- . **Entreposage** dissimulé, déjà décidé ?
- . Rejets gazeux **non filtrés** ?
- . Ventilation **défaillante** ?
- . Obstruction/**dégradation** d'une galerie ?
- . **Maintenance** délicate des galeries ?
- . Possibilité de **fermeture** des alvéoles ?
- . Pression de  $H_2$  : fiabilité des **scellements** ?
- . Suivi et **contrôle** du stockage ?
- . Hydrogène : Contrôle des **explosions** ?
- . Conséquences d'un **incendie** ?

....



Image d'illustration

## Synthèse & Questions



# Enfouissement nécessaire ?

### Installations de (sub-)surface sur site de production :

- . Filtres THE installés
- . Pas de transports
- . Pas d'effet de four ou de tunnel
- . Ventilation naturelle toujours possible
- . Réparations et maintenance toujours possibles

### Effets additifs :

Si chute, défaillances ou contaminations :

**Rejets car absence de filtres**

Quand accident ou chute ->

**Contaminations et arrêt de la ventilation**

Si arrêt de la ventilation :

**Explosion et / ou incendie (effet de four)**

Si incendie du bitume + H<sub>2</sub> + ventilation - eau :

**Explosions + incendies + rejets !**



Image d'illustration



## Synthèse & Questions



# Des coûts maîtrisés ?

## Scénarios inconnus ?

- . Arrêt ou continuation du retraitement des combustibles usés ?
- . Conséquences du démantèlement des centrales ?

**Coûts : 10 Mrds, puis 20 Mrds, actuellement : 35 Mrds €**



Image d'illustration



## **Beaucoup d'éléments non communiqués :**

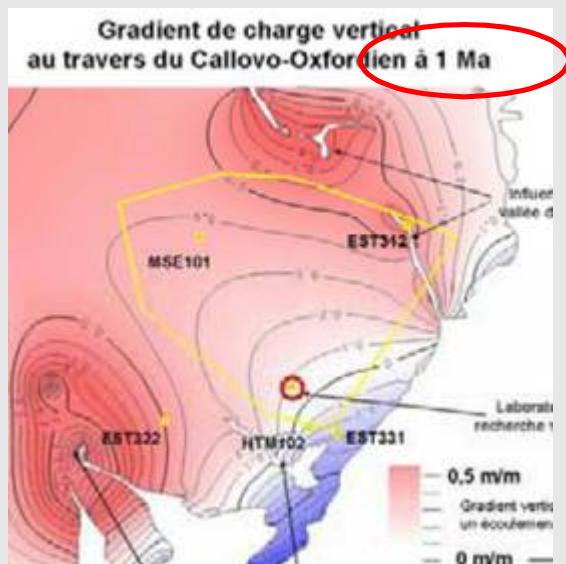
- . **Laboratoire de recherche :**
  - > **Stockage de déchets**
- . **Pas de nuisances :**
  - > **Rejets gazeux contaminés**
- . **Pas d'entreposage, peu d'emprise :**
  - > **Entreposages étendus (espace & durée)**
- . **Positif pour l'emploi :**
  - > **Dangers pour le personnel**
- . **Pas de risques :**
  - > **Risques d'explosions,**
  - > **Risques d'incendies ....**



Image d'illustration



# Long terme uniquement !



**Peu d'éléments sur l'exploitation :**

- Scénarios à 300 000 ans
- Scénarios à 1 million d'années !

**Décroissance de la  
radioactivité !  
-> Diminution des risques**



Image d'illustration



## Discours différenciés !

**La présentation au public,**  
**La communication avec les experts (CNE, CLIS...),**  
**Les synthèses des dossiers,**  
**# du détail des dossiers,**  
**Le 'futur projet' prévu, ...**

**et la réalité ?**

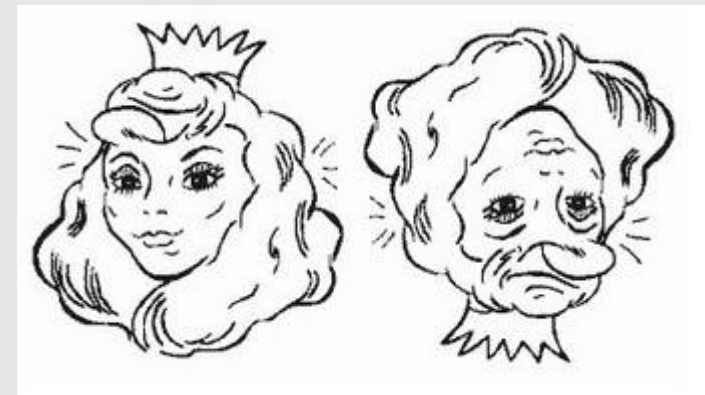


Image d'illustration



# **La nature mise à contribution !**

## **Vernis du naturalisme :**

**Retour à la radioactivité naturelle, protection et conservation naturelle des sols et de la roche**



Image d'illustration





## Le leurre de la réversibilité

### . Techniquement :

- . **FLUAGE ?** Environ cent à mille fois plus important en Belgique
- . **PRESSION D'H<sub>2</sub> ?** Comment rouvrir une alvéole avec 5 à 12 Mpa de pression

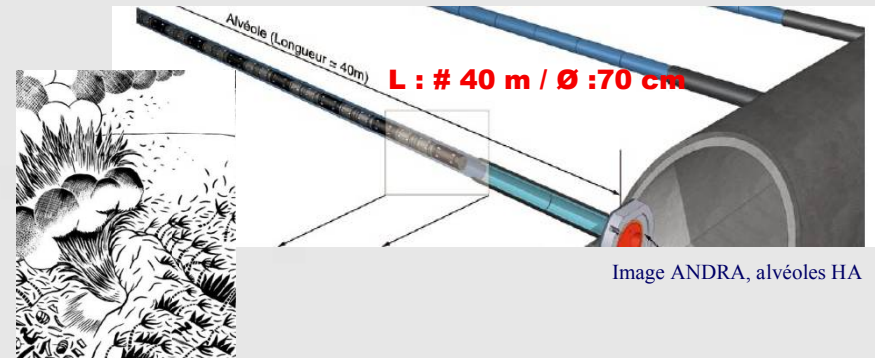


Image ANDRA, alvéoles HA

Image d'illustration

### . Economiquement :

« La loi de 2006 fournit une structure de financement pour la recherche et la construction et l'exploitation de stockage et d'entreposage... Cependant, ces fonds ne couvrent pas le retrait potentiel des colis. »



Image d'illustration



# Cigéo : solution unique ?

**Communication sur la solution unique**  
**Alternatives non envisagées sérieusement**  
**Solution unique non démontrée, ni justifiée !**



Image d'illustration

**Systeme vivant !**

Schéma des installations souterraines, image ANDRA

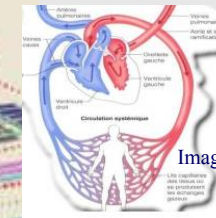
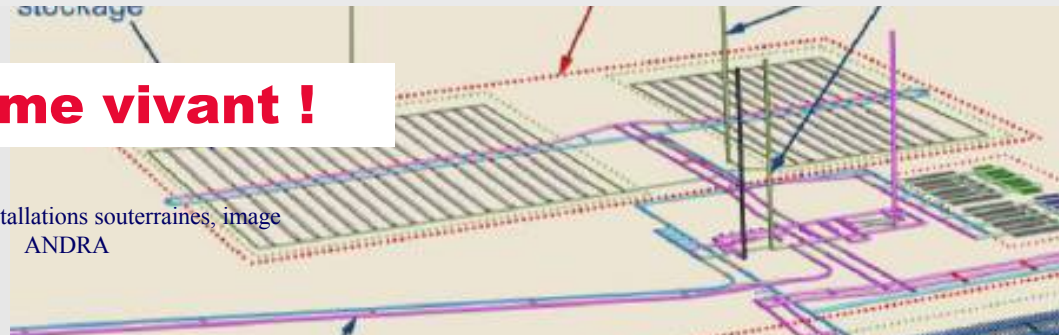


Image d'illustration

**-> Stockage à sec sur site de production ?**