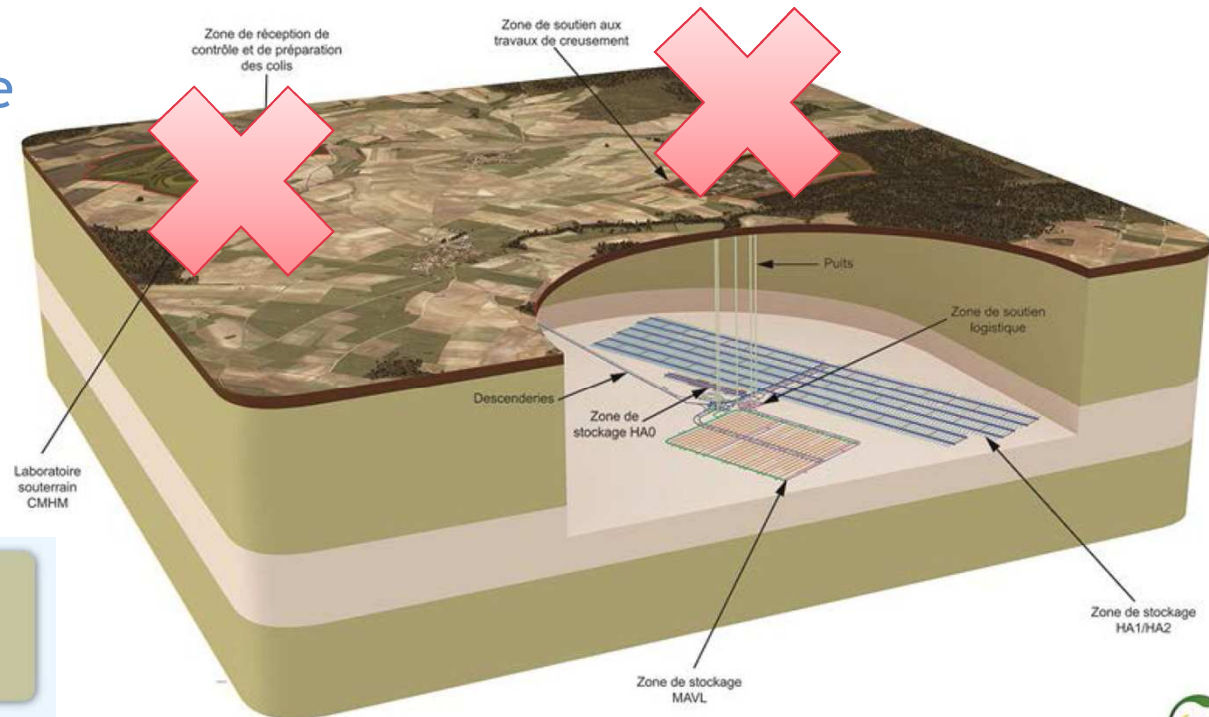


## 2<sup>ème</sup> session - Thème 4

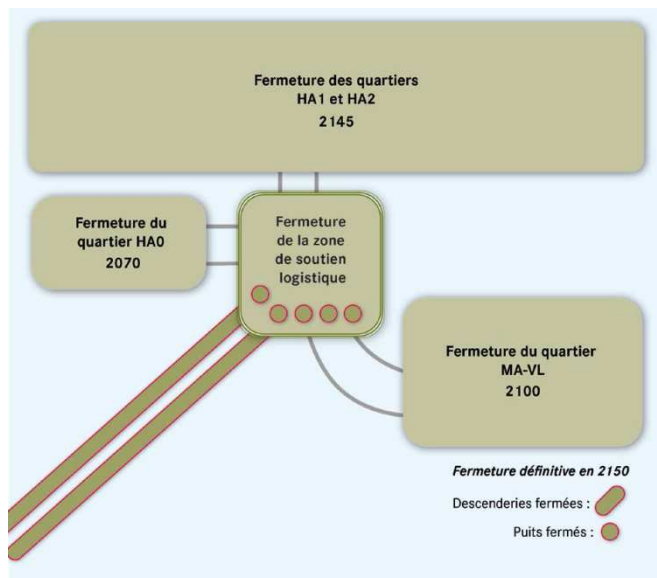
- ❑ Les déchets
- ❑ Sûreté en Exploitation
- ❑ Récupérabilité - fermeture
- ❑ Sûreté après fermeture**
- ❑ Phase pilote

# Sûreté après fermeture

## Installations de surface démantelées



Echelle des ouvrages non respectée.  
Pendage des formations géologiques non représenté.



(S.15.0005.C

- Galeries, descenderies et puits remblayés
- Scellements réalisés

# Sûreté après fermeture

## ■ Démarche de sûreté après fermeture

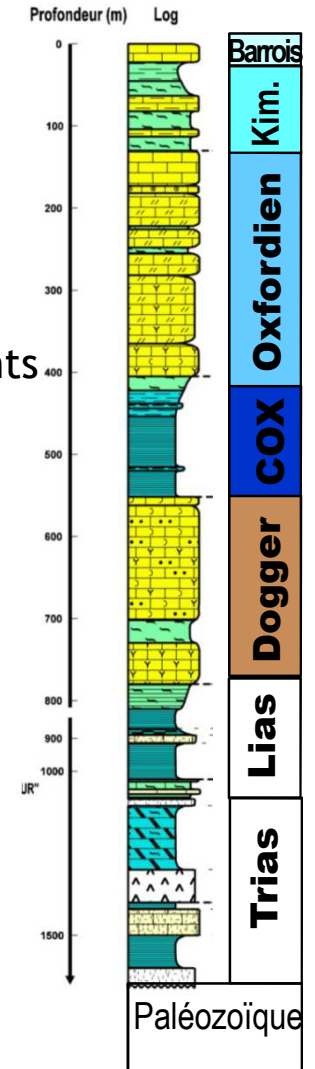
- Choix du scénario d'évolution normale et des scénarios d'évolution altérée du stockage
  - Est-ce que tous les dysfonctionnements possibles de composants du stockage (pouvant dégrader une/des fonctions de sûreté) sont bien envisagés ?
  - Est-ce que les éventuelles situations exclues sont justifiées ?

### **Fonctions de sûreté du stockage après fermeture :**

- s'opposer à la circulation d'eau
- isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines
- limiter le relâchement des radionucléides et toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage
- retarder et atténuer la migration des radionucléides

# Sûreté après fermeture

- Démarche de sûreté après fermeture
- Connaissances et incertitudes sur l'évolution à long terme
  - évolution de la roche hôte et du site (géodynamique: mouvements verticaux, érosion, incision des rivières, hydrogéologie...)
  - Où seront les exutoires naturels des aquifères sus-jacents au Callovo-Oxfordien (nappes de l'Oxfordien et du Barrois) ?
  - Évolution des composants du stockage soumis aux perturbations thermiques, hydrauliques, mécaniques, chimiques, gazeuses, microbiologiques, radiologiques ... :
    - colis primaires (verres, colis salins...),
    - aciers (surconteneurs HA, chemisages des alvéoles HA...),
    - bétons (surconteneurs MAVL, revêtements des galeries et alvéoles MAVL, massifs d'appui des scellements...),
    - matériaux argileux (remblais, bentonite)...
  - En particulier les scellements



# Sûreté après fermeture

- Démarche de sûreté après fermeture
- Connaissances et incertitudes sur l'évolution à long terme
- Risques après fermeture
  - Risque sismique
  - Risque de criticité
  - **Peuvent -ils dégrader une/des fonctions de sûreté ?**

# Sûreté après fermeture

- Démarche de sûreté après fermeture
- Connaissances et incertitudes sur l'évolution à long terme
- Risques après fermeture
- Évaluation de la capacité globale de confinement
  - Évaluation d'impact radiologique en scénario d'évolution normale
  - Évaluations d'impact radiologique pour les scénarios d'évolution altérée
  - Situations d'intrusion humaines
  - pertinence des concepts et de l'architecture de l'installation au regard de la sûreté après fermeture

# Sûreté après fermeture - Scellement

Question 4.1 : Tenue du scellement au vu de sa contribution à la barrière ultime ?



IRSN

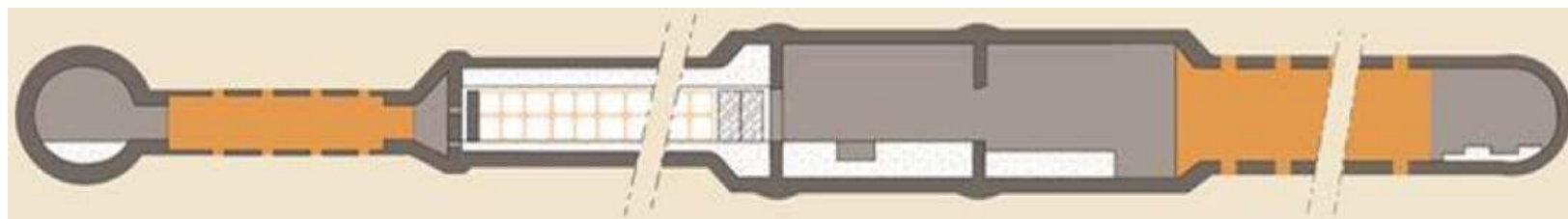
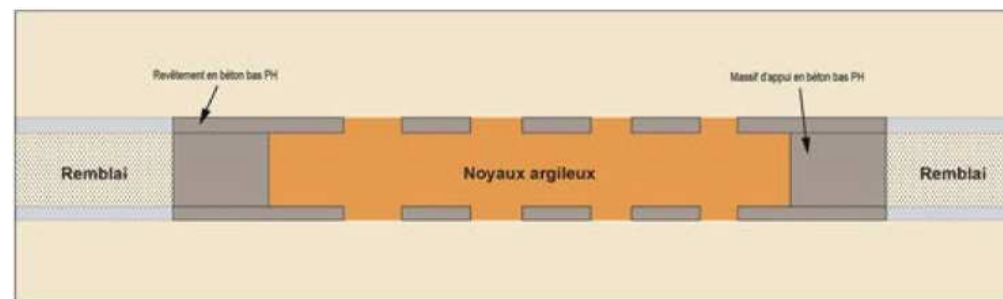
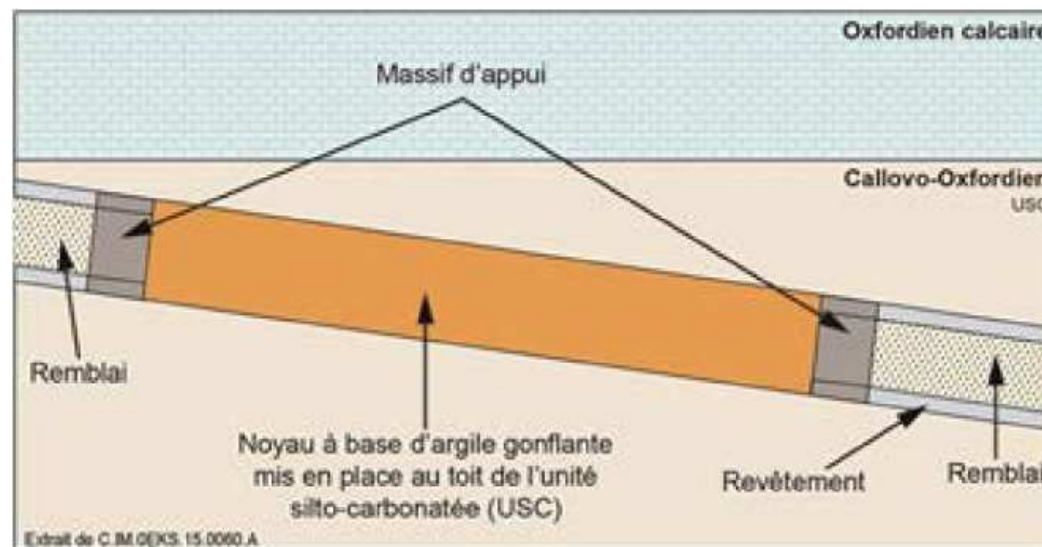
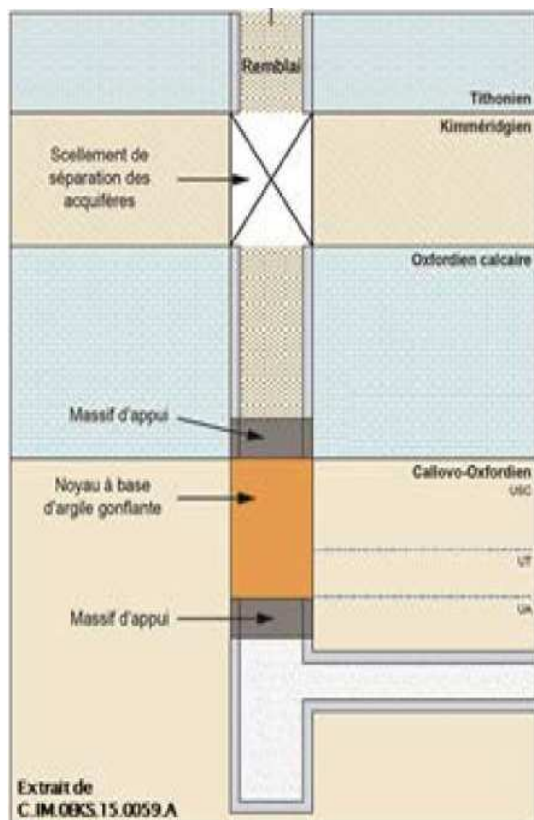
➤ Comment est assuré le maintien d'une faible perméabilité pendant plusieurs centaines de milliers d'années



■ Composant principal = noyau argileux (matériau naturel) qui occupe toute la section à sceller

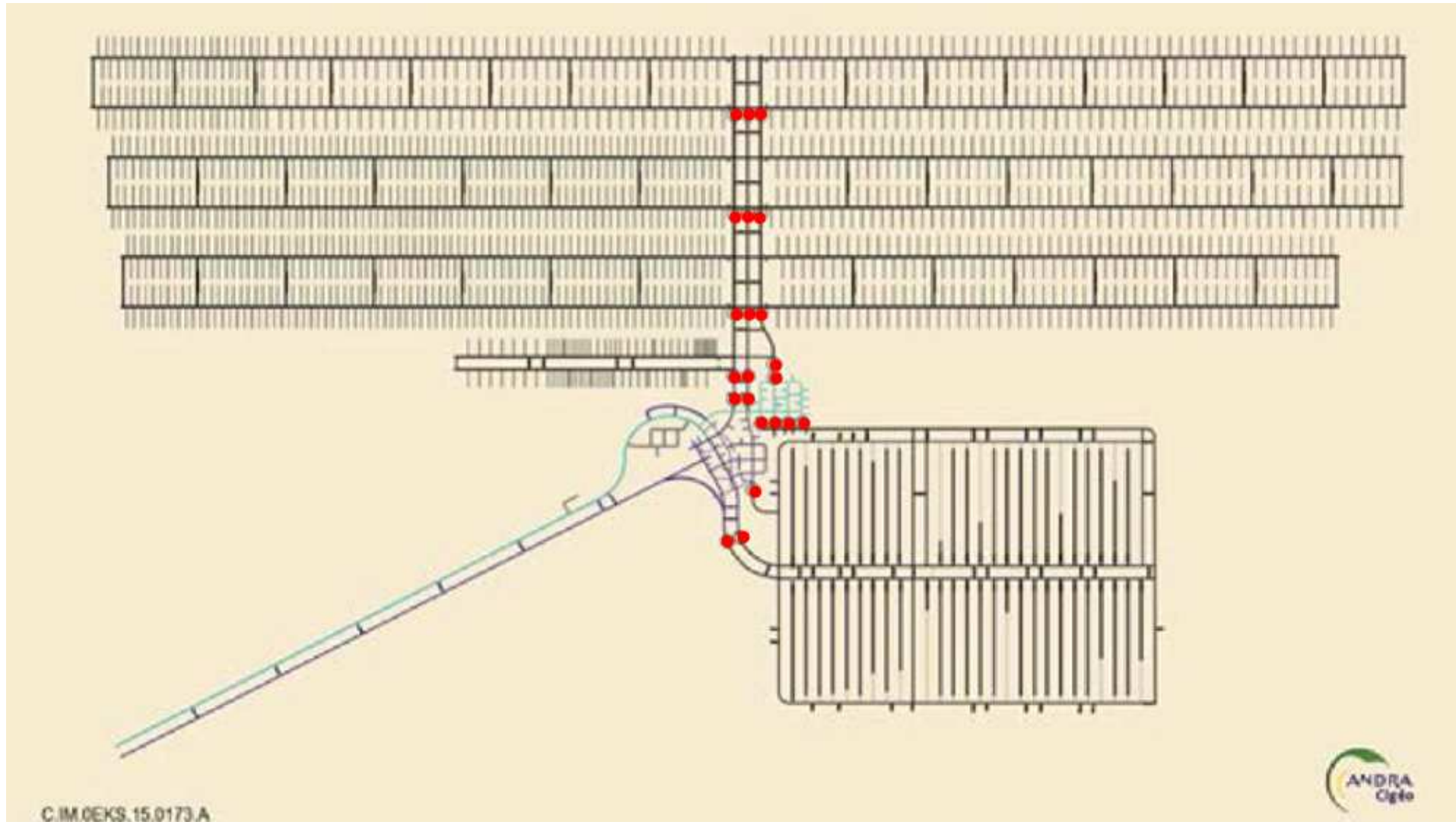
- Mise en place au contact direct des argilites (dépose totale ou partielle des revêtements)
- Comblement des vides résiduels par gonflement des matériaux argileux (smectites) sous l'effet de la resaturation et/ou convergence des parois
- Beaucoup d'expériences réalisées : sur le plan international...
- ...et par l'Andra : NSC, CDZ, FSS... au Laboratoire souterrain ou ailleurs

# Schémas de principe (d'après Andra)





# Localisation possible scellements fond



**IRSN** Deux concepts suivant la possibilité de démonter ou non les revêtements : les scellements de LSF devraient être plus performants, ce qui est satisfaisant au regard du guide ASN

**IRSN** Q. posée : examinée lors GP 2014 « Ouvrages de fermeture »  
[www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_gp/gp-dechets/Pages/Synthese-rapport-IRSN-Cigeo-ouvrages-fermeture.aspx#.WikPdKPLTyQ](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-dechets/Pages/Synthese-rapport-IRSN-Cigeo-ouvrages-fermeture.aspx#.WikPdKPLTyQ)



### ➤ Plusieurs engagements pour la DAC :

- Justifier la possibilité d'atteindre les performances mécaniques visées avec un béton bas pH en phases d'exploitation et post-fermeture
- Vérifier l'absence de conséquence d'une activité bactérienne
- Justifier la longueur de ces différents scellements (massif d'appui et noyau) en tenant compte du comportement mécanique d'ensemble de ces ouvrages, du contexte poromécanique, de la sollicitation due aux gaz et de l'incertitude sur le comportement rhéologique du béton sur ces durées



+ Démonstrateurs en phase pilote

...en complément des expériences déjà en cours

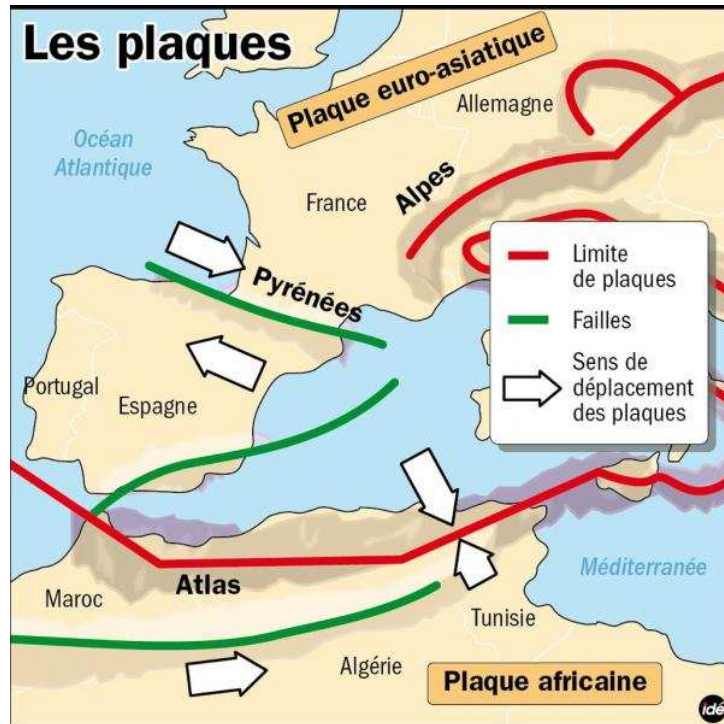
**IRSN** L'IRSN mène aussi ses propres recherches : SEALEX, VSeal...

# Sûreté après fermeture



Question 4.2 : Quelle est la résistance dans le temps du Callovo-Oxfordien au regard de la possibilité d'évolutions géologiques comme la possibilité de failles ?

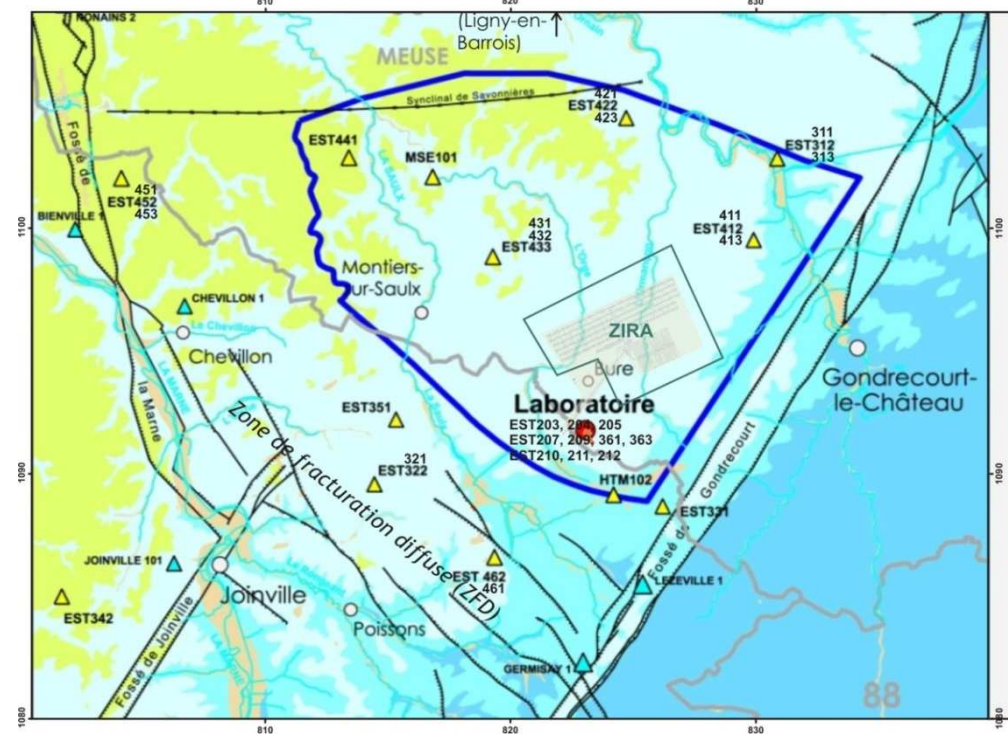
# Sûreté après fermeture



... et ces failles recoupent toutes les couches, y compris le COX !

## Mouvements entre plaques tectoniques

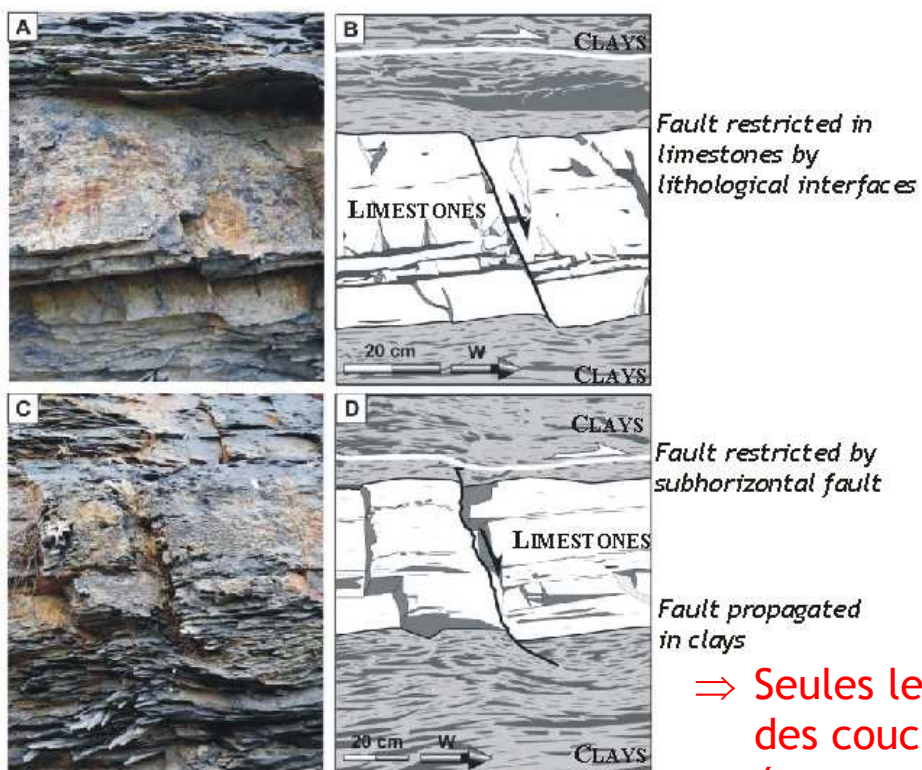
- une grande partie des déformations se produisent aux abords de ces limites
- Mais des failles quand même en MHM...



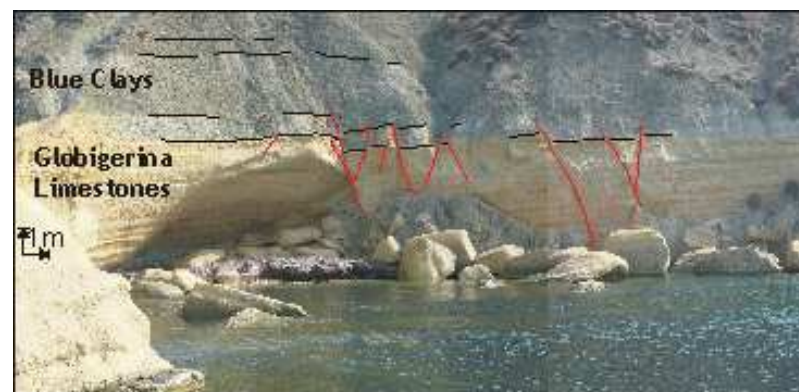


## Quelle typologie des failles dans des alternances argiles-calcaires ?

- Effet de la poussée des plaques tectoniques : plissements, failles...
  - Les roches argileuses → comportement « ductile » (plutôt du plissement)
  - Les roches calcaires (ou les grès...) → comportement « cassant » (plutôt des failles)
- Quelques analogues à plus petite échelle:



Exemple de faille dans le bassin du Sud-Est, France (Roche, 2011)



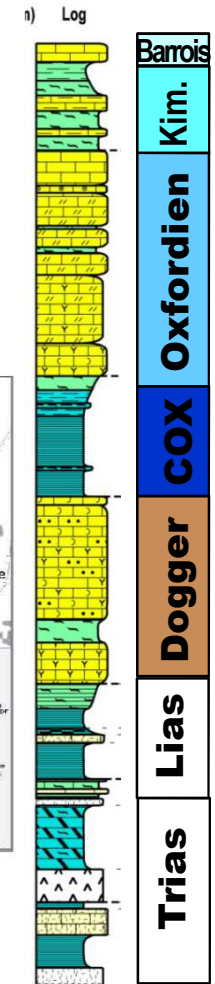
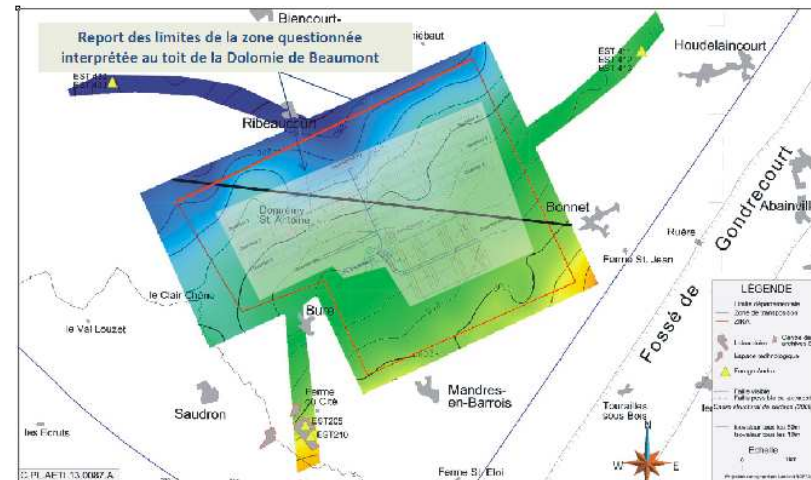
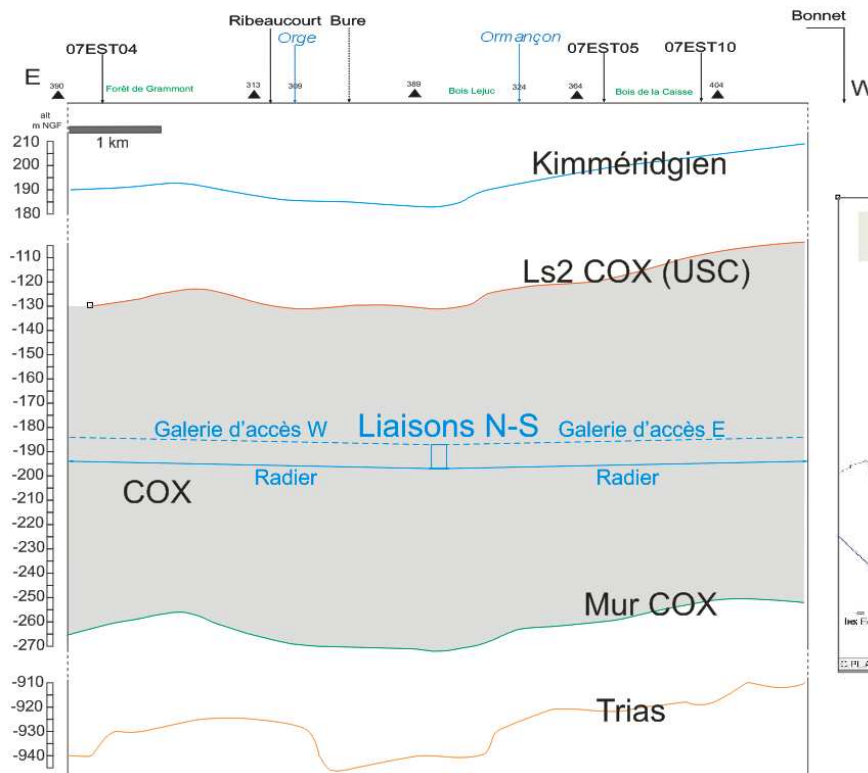
Failles mineures à l'interface  
Calcaires à Globigérines / Argiles Bleues, Malte

- ⇒ Seules les failles importantes (=important décalage des couches) traversent des couches argileuses épaisses comme le COX
- ⇒ Plus le décalage des couches est grand, plus les failles sont détectables par méthodes géophysiques...

# Quelles structures identifiées par reconnaissance géophysique ?



- Sismique 3D de 2010 : dépression N-S traversant la ZIRA ~15m sur 1-2 km de large, au niveau des quartiers HA1/HA2 n°2 et 3
- À l'aplomb d'un fossé dans le Trias, attribué par l'Andra à une dissolution du sel
- Dépression dans le COX = artefact dû à une variation latérale de vitesses sismiques
- 2013 : nouvelles cartes → toujours dépression, affecte toutes les couches



## Quelles structures identifiées par reconnaissance géophysique ?



- Sismique 3D de 2010 : dépression N-S traversant la ZIRA ~15m sur 1-2 km de large, au niveau des quartiers HA1/HA2 n°2 et 3
- À l'aplomb d'un fossé dans le Trias, attribué par l'Andra à une dissolution du sel
- Dépression dans le COX = artefact dû à une variation latérale de vitesses sismiques
- 2013 : nouvelles cartes → toujours dépression, affecte toutes les couches

IRSN

- L'affaissement du Trias s'est vraisemblablement poursuivi après le dépôt des couches
- Faible dépression → simple flexuration des couches sans endommagement notable ?
- ⇒ Vérifier que l'**hypothèse d'homogénéité du COX** sur l'ensemble de la ZIRA reste valable (propriétés du COX notamment sur les bords de la zone affaissée)
- ⇒ Des **adaptations de l'architecture souterraine** du stockage devraient être possibles en plaçant les alvéoles HA à distance de la zone si elle était confirmée



- **Engagement E8-2017** d'une reconnaissance directe du COX à réaliser à l'aplomb de la zone suspectée affaissée...


# Sûreté après fermeture

Question 4.2 : Quelle est la résistance dans le temps du Callovo-Oxfordien au regard de la possibilité d'évolutions géologiques comme la possibilité de failles ?



**IRSN** En conclusion : très faibles incertitudes sur

- | structure du COX
- | limites des méthodes géophysiques de détection des failles
- | effets de séismes sur le prochain million d'années

 ⇒ Demande ASN de 2013 d'étudier un scénario très hypothétique prenant en compte la présence d'une **discontinuité non détectée dans le COX**  
→ *retarder et atténuer la migration des radionucléides* + **GE AIEA**



# Sûreté après fermeture

## Question 4.3 : scénarios d'exposition de la population

**IRSN** ➤ Voies de transfert des radionucléides des colis jusqu'à l'homme

1) Au niveau de la couche du Callovo-Oxfordien,

- Connaissance sur les propriétés de transport, pour les radionucléides, des couches géologiques et des matériaux utilisés pour remblayer le stockage (scellements, remblai argileux, béton, colis...)
- Evolution à long terme de ces couches géologiques et matériaux

# Sûreté après fermeture

## **IRSN** 2) Au-delà de la couche du Callovo-Oxfordien,

- Connaissance de l'hydrogéologie régionale et au niveau du bassin parisien
- Evolutions à long terme de l'hydrogéologie
- Points d'alimentation en eau (Rivière, Forages) potentiels
- Evolutions à long terme du climat (pouvant induire une modification dans les habitudes et les activités humaines)

## 3) Evaluation dosimétrique,

- Voies d'exposition retenues



Définition sur la base des connaissances et des évolutions des matériaux et des couches géologiques d'un ensemble de scénario d'évolution du stockage :

- Scénario d'évolution normale
- Scénarios postulant un dysfonctionnement (perte d'étanchéité des colis, dysfonctionnement des scellements...)

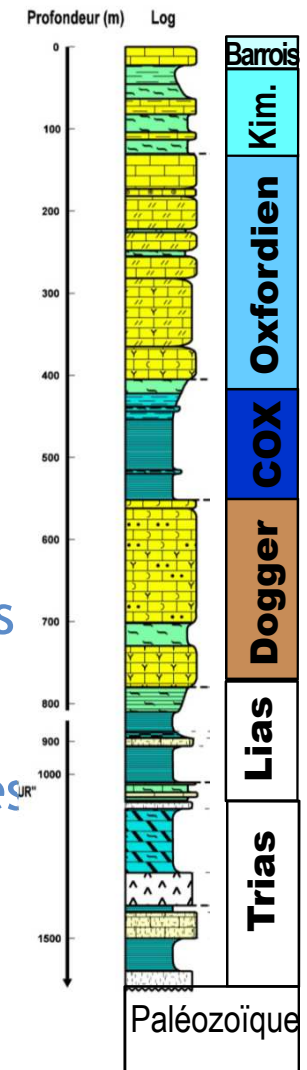
1) Au niveau de la couche du Callovo-Oxfordien,

- 2 voies de transfert :
  - Transfert diffusif par le Callovo-Oxfordien (majoritaire)
  - Transfert convectif par les ouvrages, les puits et la descenderie



## 2) Au delà de la couche du Callovo-Oxfordien,

- Détermination des sens et des vitesses d'écoulements dans les aquifères (Dogger, Oxfordien et Barrois)
- Identification des exutoires naturels de ces aquifères (rivière)
- Identification des zones de pompage en eau en profondeur (dans le Dogger) ou en surface (dans le Barrois)
- Estimation des pics d'activité des radionucléides





### 3) Evaluation dosimétrique,

- Définition d'un groupe d'individus « multi-activités » permettant de maximiser l'ensemble des voies d'exposition (ingestion, inhalation, exposition externe) basée sur une enquête alimentaire (régionale)
- Evolution du climat → prise en compte de différentes biosphères (chaude, froide...)
- Dose → de l'ordre de la dizaine de  $\mu\text{Sv}/\text{an}$

**IRSN** Optimisation de l'architecture du stockage → recommandation Evolutions géodynamiques retenues et sur les exutoires envisagés → engagement de l'Andra pour prendre en compte un pompage à l'Oxfordien (plus proche de l'installation)  
/!\ impact chimique sur la population et l'environnement

# Schémas de resaturation (d'après Andra)

