



# LA MODÉLISATION DU STOCKAGE GÉOLOGIQUE À EDF R&D PANORAMA ET ATTENTES VIS-À-VIS DE NEEDS

23/05/2022

Ce document est la propriété d'EDF. Toute diffusion externe du présent document ou des informations qu'il contient est interdite.



# SOMMAIRE

1. PANORAMA DES TRAVAUX D'EDF R&D POUR LA MODÉLISATION DU STOCKAGE GÉOLOGIQUE
2. ATTENTES ET BESOINS D'EDF R&D

# LA MODELISATION DU STOCKAGE GEOLOGIQUE PROFOND A EDF R&D

# EDF R&D AU SERVICE DES PROBLÉMATIQUES INDUSTRIELLES DU STOCKAGE GÉOLOGIQUE CIGÉO

L'Andra : seul opérateur industriel des centres de stockage (contexte réglementaire)

**EDF en tant qu'exploitant responsable accompagne l'Andra depuis plus de 20 ans pour :**

- Conforter la faisabilité du stockage profond
- Conforter l'acceptabilité de certains colis en entreposage et/ou à Cigéo
- Assurer sa sûreté durant la phase d'exploitation et au-delà
- Optimiser le dimensionnement et donc les coûts



# DES ÉTUDES INTÉGRÉES AUX DIFFÉRENTES ÉCHELLES DU STOCKAGE

## A l'échelle du colis pour s'assurer de leur acceptabilité :

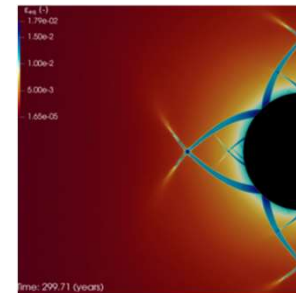
- Comportement des bétons pour les colis MAVL (problématique de séchage, de chute, etc.)
- Comportement des verres pour les colis HAVL (corrosion, lixiviation, etc.)
- Comportement des enrobés bitumineux en présence d'eau



- ...

## En champ proche :

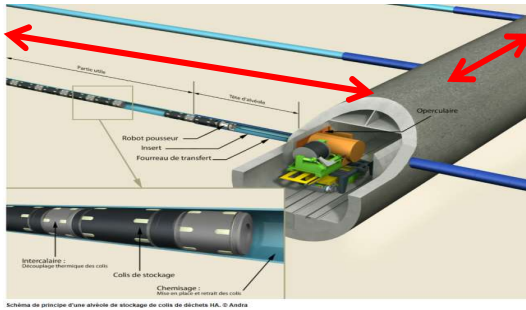
- Pour s'assurer de l'intégrité du Callovo-Oxfordien sous différentes sollicitations
  - Lors du creusement et à long terme
  - Au contact de l'hydrogène issu de la corrosion des parties métalliques et de la radiolyse
- Pour optimiser les épaisseurs des revêtements (béton, matériaux compressibles, etc.)
- Pour s'assurer du rôle des différents composants
  - Matériaux de fermetures (remblais, scellements, etc.)
  - Bétons, etc.



# DES ÉTUDES INTÉGRÉES AUX DIFFÉRENTES ÉCHELLES DU STOCKAGE

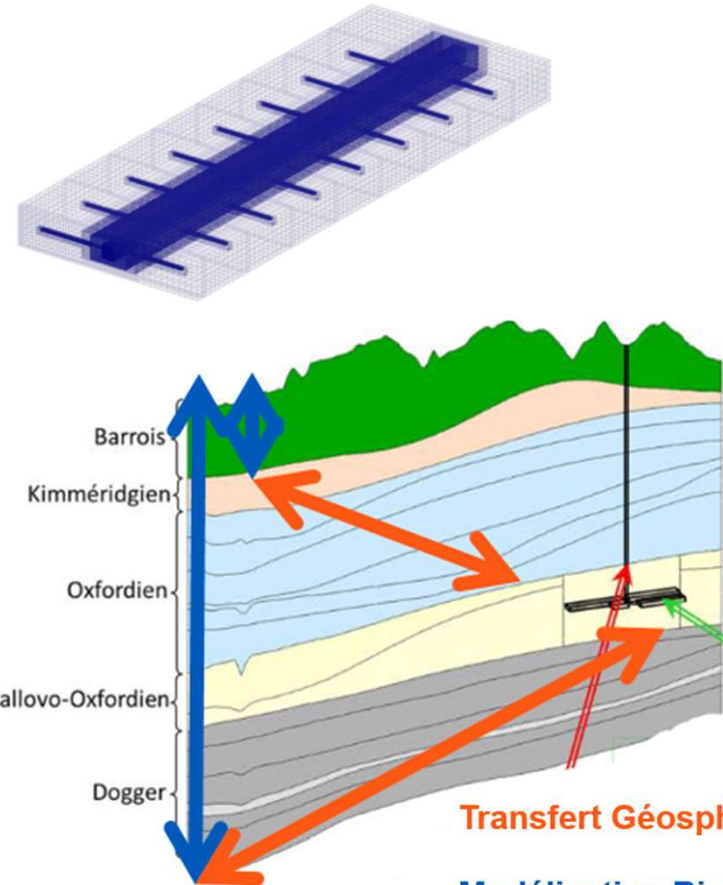
## A l'échelle des quartiers de stockage pour :

- Un **dimensionnement optimal** (par exemple espacement et remplissage des alvéoles selon des critères existants)



## ➤ La **Sûreté** :

- Etudier la migrations des gaz
- Simuler le transport des radionucléides à travers la Géosphère (étude de sûreté à long terme)
- Modéliser les mécanismes de transfert des radionucléide dans la Biosphère (calcul des facteurs de conversion Biosphère).



# BESOINS DE R&D DE L'INDUSTRIEL

# LES ÉTUDES THM POUR LE STOCKAGE GÉOLOGIQUE

Utilisation d'un code de calcul à l'échelle macroscopique (Code\_Aster) => caractérisation multi-échelles pour alimenter les lois de comportement et la compréhension des mécanismes.



- **Comment remonter à des paramètres matériaux macroscopiques classiques à partir de la connaissance de la microstructure**
- **Pour les calculs de structures à grande échelle :**
  - Caractérisation par traitement d'image à différentes échelles : comment faire remonter cette représentation à l'échelle de la loi de comportement macroscopique
    - De l'approche discrète à l'approche continue
    - Méthodes d'homogénéisation avancées
  - Traitement des hétérogénéités : gérer la variabilité spatiale pour remonter à un calcul de structure
  - Aspects temporels long terme : transitoire hydraulique vs comportement différé (fluage)

Selon  
différentes  
sollicitations  
et pour  
différents  
matériaux

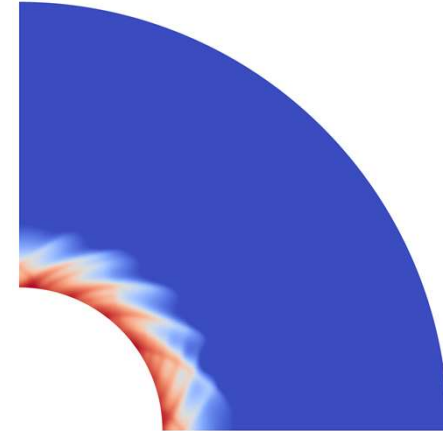


## QUELS BESOINS POUR QUELLES SOLLICITATIONS (1/4)

### SOLLICITATION MECANIQUE DE L'ARGILITE

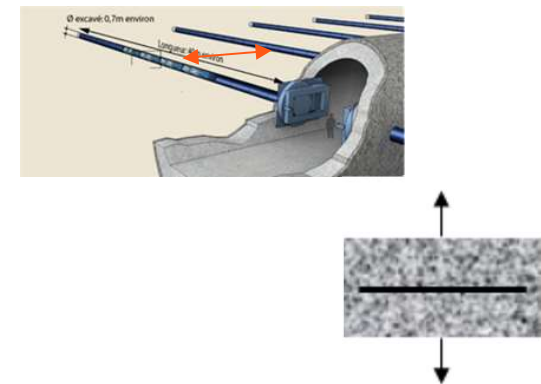
Aujourd'hui utilisation de lois de comportement viscoplastique anisotropes avec méthodes de régularisation

- Enrichir et nourrir ces modèles en s'appuyant sur une meilleure caractérisation aux différentes échelles – selon la zone envisagée et donc la minéralogie
- Mieux modéliser les couplages avec la thermique et la saturation en passant par la petite échelle



### SOLLICITATION THM DE L'ARGILITE

- Affiner l'évaluation de la fracturation potentielle liée à la surpression en eau due à la température entre 2 alvéoles)
  - Aujourd'hui critères de rupture basés sur les contraintes de Terzaghi
  - Par rapport à une résistance à la traction



## QUELS BESOINS POUR QUELLES SOLLICITATIONS (2/4)

### CONSEQUENCES DE LA PRODUCTION D'HYDROGENE

Hydrogène produit par la Corrosion des parties métalliques/Radiolyse

Enjeux : évaluer les cinétiques de transport de gaz et les risques potentiels d'endommagement de la roche

- **Évaluer les transferts gazeux dans l'argilite**
  - Continuer à alimenter et enrichir les modèles diphasiques classiques (porosités, succions, perméabilités, pression d'entrée, diffusions...) en tenant compte :
    - de l'hétérogénéité et des différentes échelles, des chemins de chargement, ...
  - Mieux appréhender la structure porale 3D et les mécanismes de transfert (quels chemins préférentiels ? Quelle connectivité?) - couplage avec la mécanique
  - Mieux modéliser les interfaces (avec métal, béton, bentonite, etc.)
- **Quel mécanismes d'endommagement ?**
  - Modéliser les mécanismes à petites échelles pour alimenter des modèles discrets de fracturation à comparer avec des modèles macroscopiques
- **Quel impact sur les estimations des flux de radionucléides à travers la géosphère ?**
  - Utilisation des résultats issus de la modélisation du transfert gazeux pour la simulation du transport de radionucléides.

## QUELS BESOINS POUR QUELLES SOLLICITATIONS (3/4)

### LA RESATURATION DES ARGILITES ET L'AUTOCOLMATAGE

**Enjeux : Evaluer l'autocolmatage de l'argilite (refermeture de l'EDZ)**

**Des modèles en construction (notamment dans le cadre de partenariats Andra/CEA/EDF)**

- Gonflement de l'argilite en fonction de la saturation : phénomène multi-échelles (comment les smectites absorbent l'eau aux différentes échelles)
- Caractériser le couplage des paramètres de transfert avec l'endommagement (échelle macro)
- Simuler les interfaces (avec les revêtements)

### LA RESATURATION DES MATERIEUX DE FERMETURE (MX80 ...)

**Enjeux : Etudier le rôle des matériaux de fermetures (bentonite, mélange bentonite sable, etc.), leur gonflement et leur rôle de fermeture : perméable à l'eau, passant au gaz**

**Utilisation de lois de comportement multi-échelles (nombreuses dans la littérature) pour décrire le gonflement de ces milieux. Besoin d'une meilleure compréhension de ces matériaux pour :**

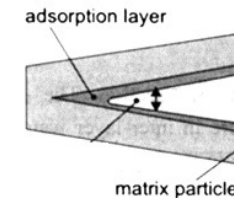
- Alimenter et enrichir ces lois (BBM, BExM..)
- Mieux prendre en compte les interfaces

## QUELS BESOINS POUR QUELLES SOLLICITATIONS (4/4)

### SOLLICITATION THERMIQUE ET HYDRAULIQUE POUR LES BETONS

**Enjeux : affiner le comportement à court et long terme des colis MAVL**

**Aujourd'hui modèle de séchage adapté aux hautes et basses humidités relatives (prise en compte des effets capillaires et des effets d'adsorptions)**

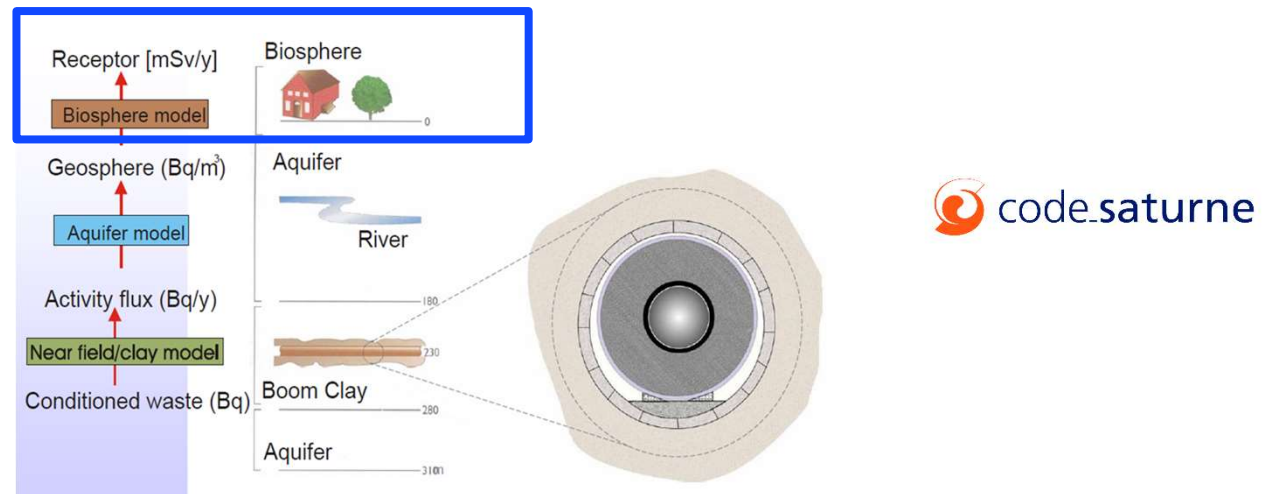


**Affiner la connaissance du comportement des bétons au jeune âge pour mieux estimer l'état initial**

**Enrichir les modèles déjà existants. Affiner les processus de diffusion en fonction de la température**

**Rôle de la chimie sur la tenue mécanique du béton : Carbonatation, Corrosion en milieu cimentaire etc.**

# LES ÉTUDES DE SURETÉ LONG TERME



**Objectif:** calculer l'impact radiologique à l'homme de l'installation sur le très long terme (million d'années), mesuré par:

$$I < RFS = 0.25 \text{ mSv} \cdot \text{an}^{-1}$$

L'étude SLT se décline en 3 études pour arriver à l'impact final

- Transfert dans le COx (modèle de géosphère) → flux de RNs sortant du COx
- Transfert dans les aquifères (modèle hydrogéologique) → dilution des RNs dans l'aquifère
- Étude d'impact radiologique (modèle de biosphère) → calcul de la dose reçue à partir d'une concentration de RNs, évaluation des facteurs de conversion Biosphère

Enjeux : améliorer les modèles de précipitations des principaux RN pour les modèles hydrogéologiques, Améliorer les facteurs de conversion à la biosphère, etc.

# CONCLUSIONS

- **Le partenariat NEEDS – partie stockage - s’inscrit dans l’ensemble des actions de R&D menées sur le stockage géologique profond**
- **Pour EDF, il permet :**
  - D’améliorer la compréhension des mécanismes en jeu pour le stockage géologique profond, en apportant notamment des éléments de consolidation du comportement phénoménologique de la roche à différentes échelles
  - De conforter les choix de certain paramètres de nos modèles
  - D’encourager la recherche fondamentale dans l’exercice de sa responsabilité d’exploitant nucléaire vis-à-vis du devenir de ses déchets.

Il joue par ailleurs un rôle essentiel dans la fédération de la communauté des milieux poreux.

MERCI