



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

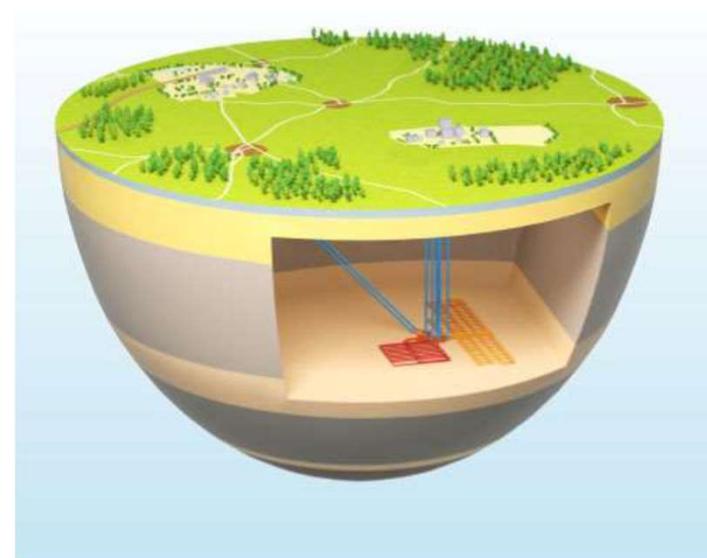
LA MODELISATION DU STOCKAGE GEOLOGIQUE PROFOND A EDF R&D

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 :

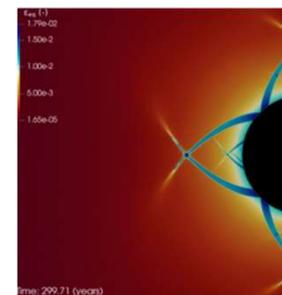
- Comportement des bétons pour les colis MAVL (problématique de séchage, de chute, etc.)
- Comportement des verres pour les colis HAVL (corrosion, lixiviation, etc.)
- Comportement des enrobés bitumineux en présence d'eau



- ...

En champ proche :

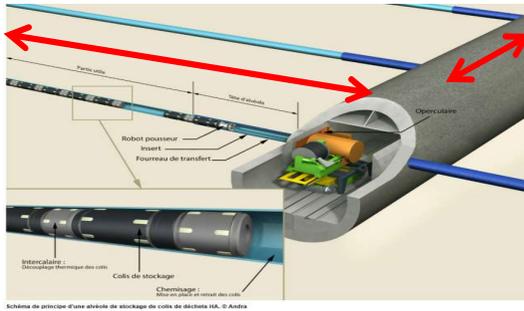
- Pour s'assurer de l'intégrité du Callovo-Oxfordien sous différentes sollicitations
 - Lors du creusement et à long terme
 - Au contact de l'hydrogène issu de la corrosion des parties métalliques et de la radiolyse
- Pour optimiser les épaisseurs des revêtements (béton, matériaux compressibles, etc.)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



DES ÉTUDES INTÉGRÉES AUX DIFFÉRENTES ÉCHELLES DU STOCKAGE

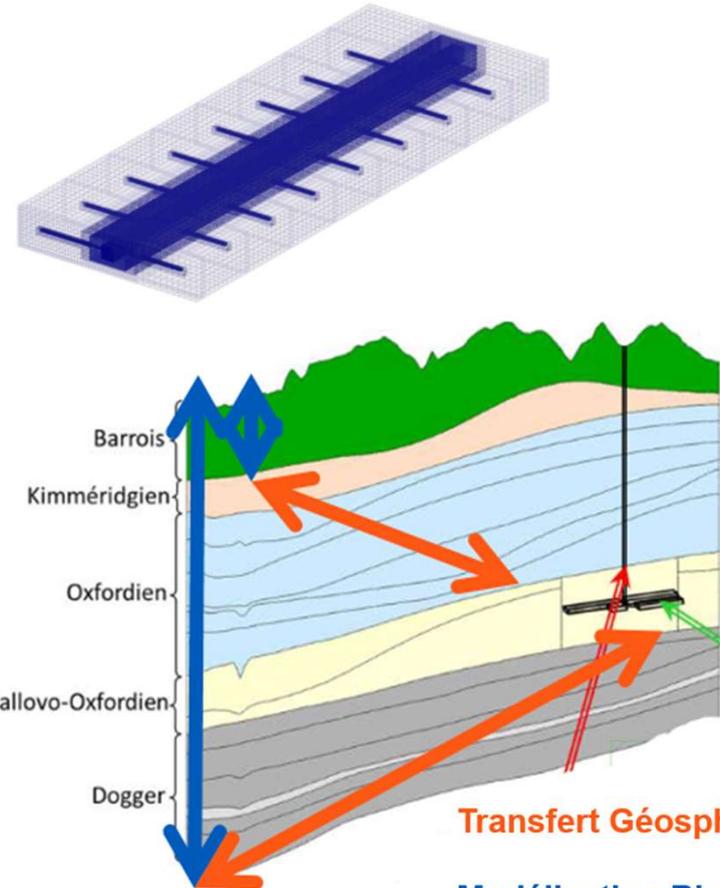
A l'échelle des quartiers de stockage pour :

- 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)

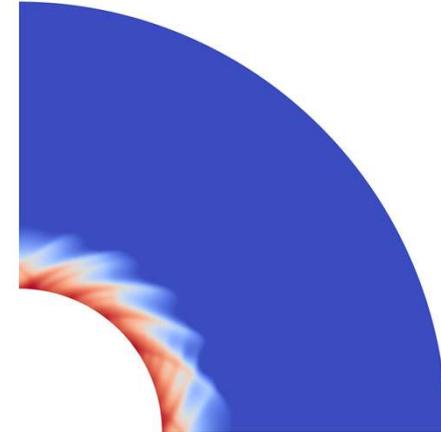
Selon
différentes
sollicitations
et pour
différents
matériaux

QUELS BESOINS POUR QUELLES SOLLICITATIONS (1/4)

SOLLICITATION MECANIQUE DE L'ARGILITE

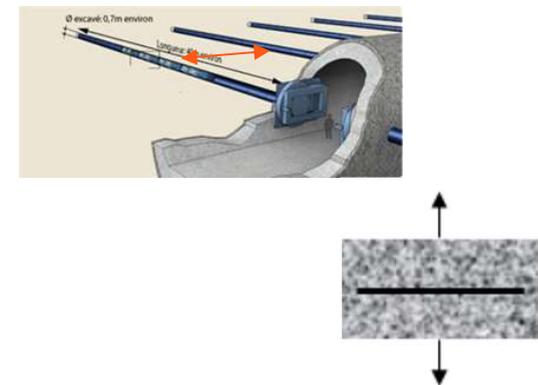
Aujourd'hui utilisation de lois de comportement viscoplastique anisotropes avec méthodes de régularisation

- 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 :

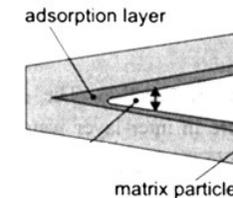
- Alimenter et enrichir ces lois (BBM, BExM..)
- Mieux prendre en compte les interfaces

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)

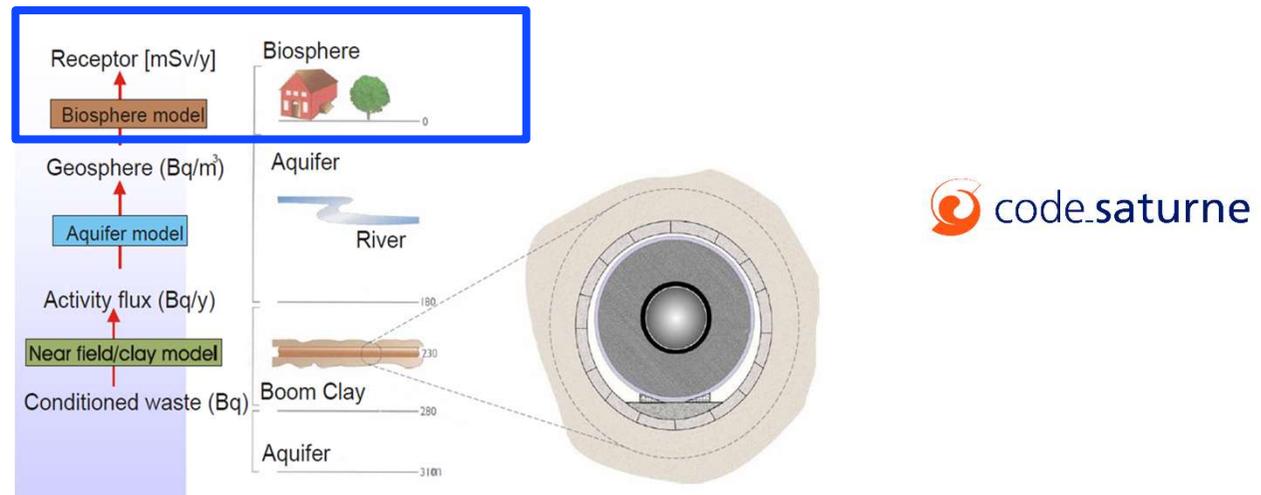


Affiner la connaissance du comportement des bétons au jeune âge pour mieux estimer l'état initial

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