

Chargements mécaniques anisotropes sur anneaux de tunnel



Université Gustave Eiffel : Kerner Laura,
Terrade Benjamin, Kerner Laura, Toutlemonde
François.

Andra : Zghondi Jad, Armand Gilles.

Sommaire

- 1) Contexte de l'étude
- 2) Solution innovante développée par l'Andra
- 3) Banc d'essais au laboratoire EMGCU

1) Contexte de l'étude : le projet Cigéo

Cigéo est le projet français de centre de stockage profond de déchets radioactifs.

→ conçu pour stocker les déchets hautement radioactifs et à durée de vie longue produits :

- par l'ensemble des installations nucléaires actuelles ;
- par le traitement des combustibles usés utilisés dans les centrales nucléaires.

→ Profondeur : de l'ordre de 500 m.

→ Durée d'exploitation : de l'ordre de 100 m.

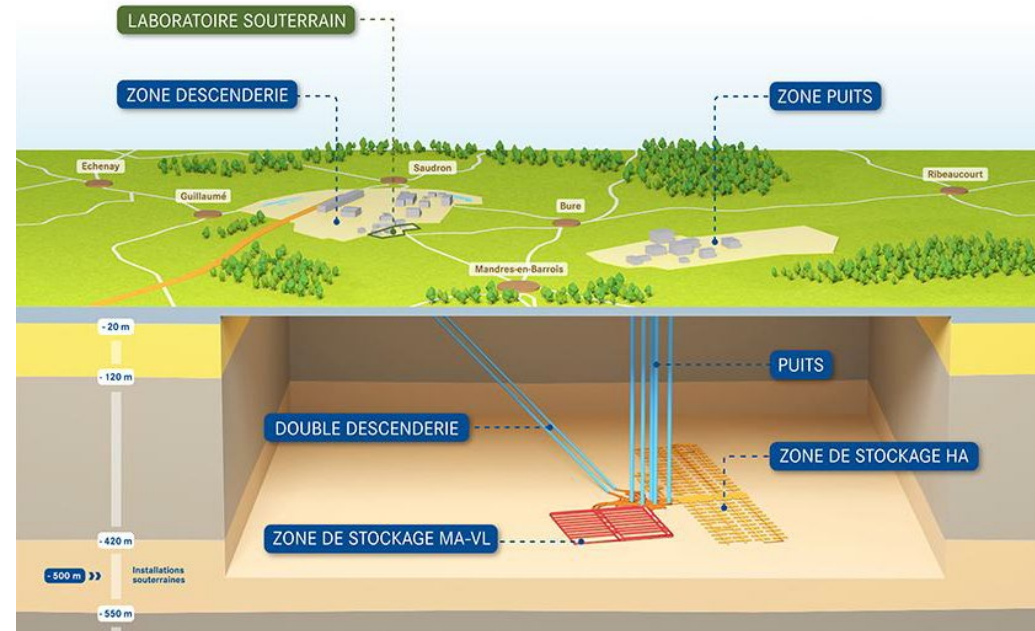
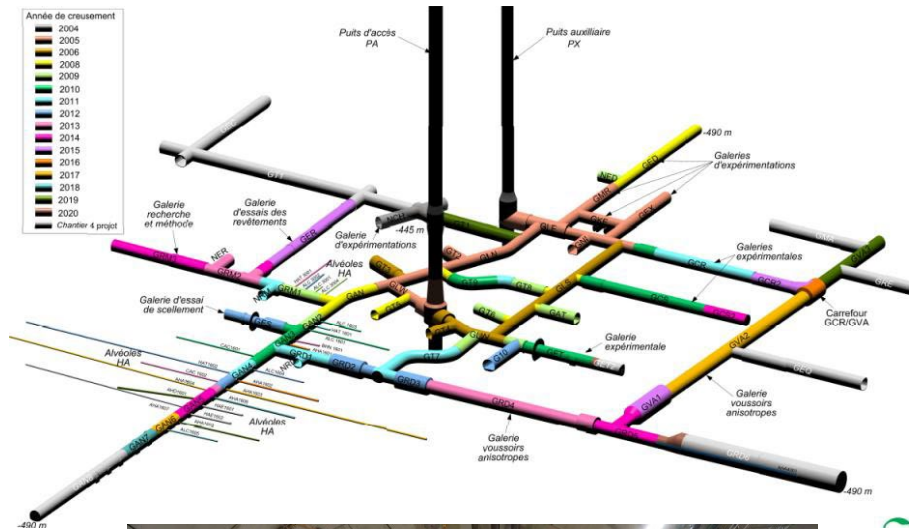


Schéma de principe (image Andra)

1) Contexte de l'étude : le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne



Creusé depuis 2000, le laboratoire souterrain permet

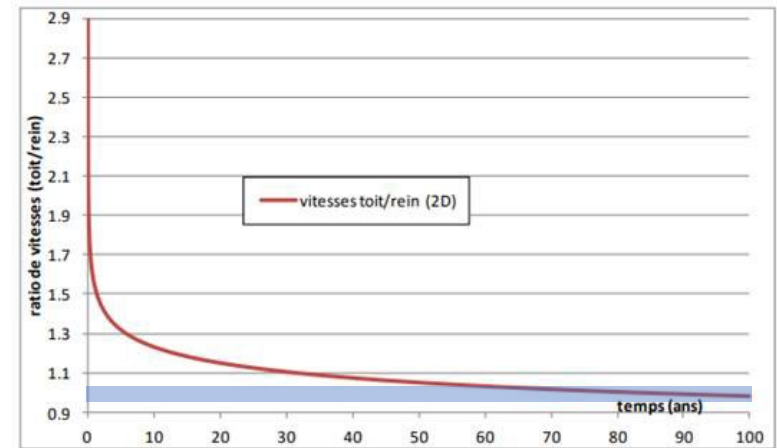
- l'observation et la mesure *in situ* des nombreuses propriétés de l'argile du Callovo-Oxfordien
- la mise au point de techniques d'ingénierie : creusement – soutènement

2000 m de galeries souterraines entre 445 et 490 m de profondeur

1) Contexte mécanique : convergence anisotrope et comportement différé

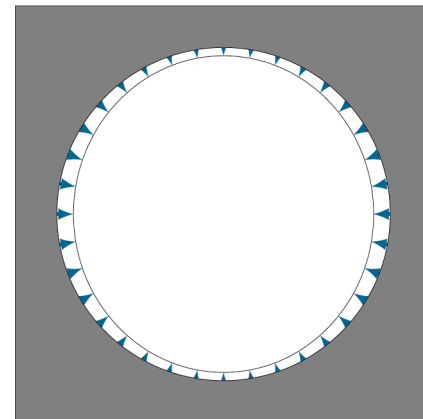
Après le creusement, le sol environnant se déforme :

- initialement de façon anisotrope,
- avec une convergence continue dans le temps.



Anisotropie de convergence en fonction du temps

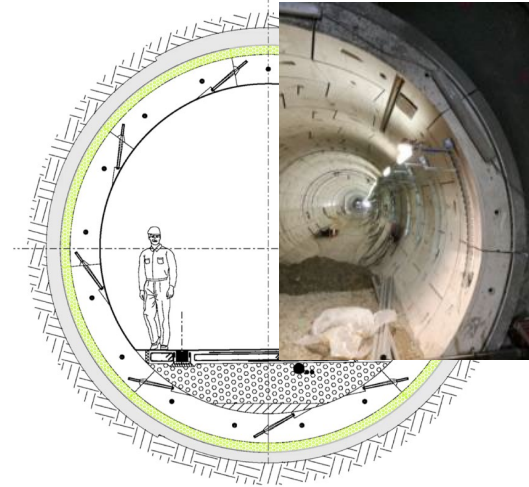
Ces déplacements imposent un chargement mécanique important sur la structure du tunnel, censée rester intègre durant la phase d'exploitation (100 ans).



2) Solution innovante développée par l'Andra

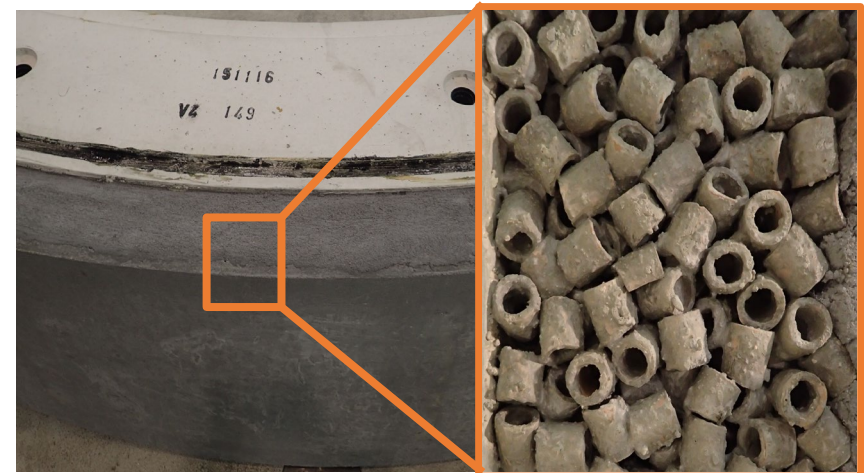
Pour plafonner les efforts dans les voussoirs lors de la phase d'exploitation dus :

- au chargement anisotrope et
 - au fluage de la roche,
- un matériau compressible est intégré à l'extrados du voussoir.



Ce matériau permettra par :

- son comportement élasto-plastique,
 - son épaisseur,
- de limiter l'évolution des contraintes radiales transmises à l'anneau de voussoir tout le long de la phase « plastique ».



2) Solution innovante développée par l'Andra



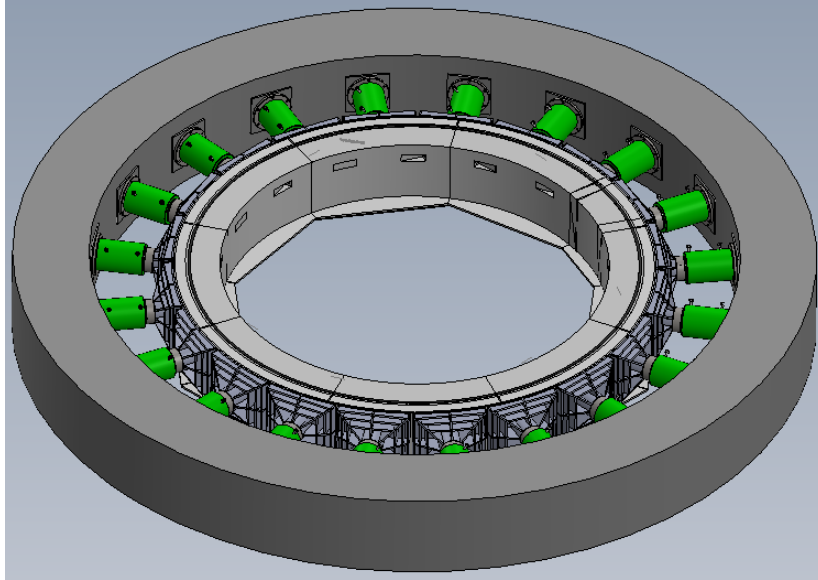
Couche granulaire très compressible :
→ Particules d'argile cylindriques creuses
fabriqués à partir de l'argile du Callovo-
Oxfordien (présente sur le site)

- La couche granulaire constituée de
particules broyables
- Les transferts de charge internes au
matériau granulaire

Permettent de réduire l'épaisseur du
voussoir tout en gardant des
performances mécaniques importantes

Ce segment de tunnel est appelé Voussoir
Monobloc Compressible (VMC)

3) Banc d'essais au laboratoire EMGCU

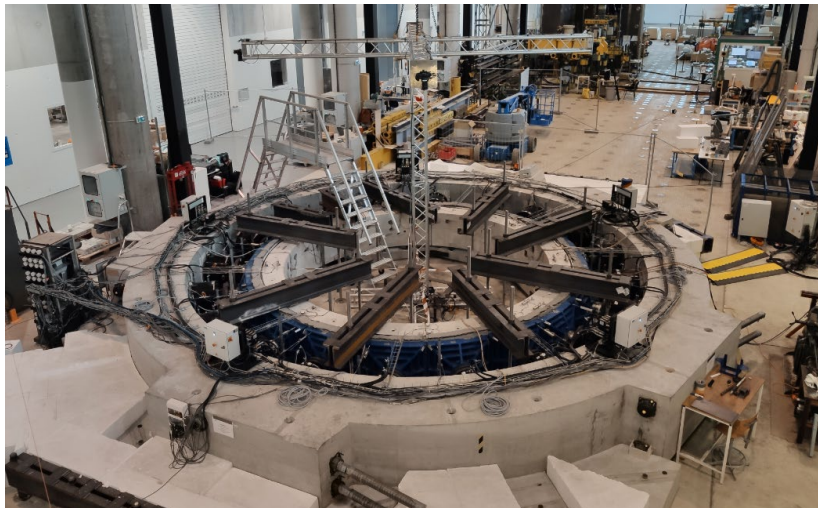


Principe de l'essai

L'Université Gustave Eiffel a mis au point un **banc d'essai** permettant de soumettre cet anneau (solution avec une couche compressible intégrée)

à un **champ de déplacements anisotrope** reproduisant la **convergence du terrain** à différents âges de la vie des ouvrages, par le moyen de :

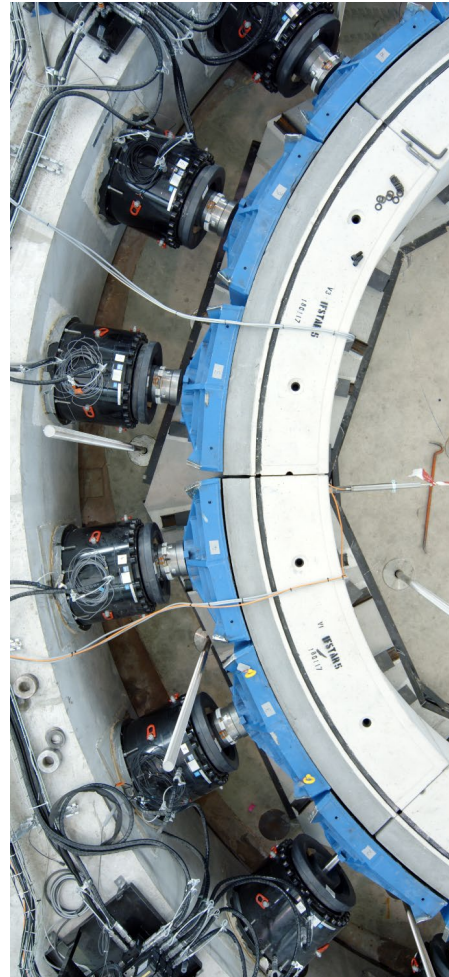
vingt vérins appuyés sur un anneau de réaction en béton précontraint,



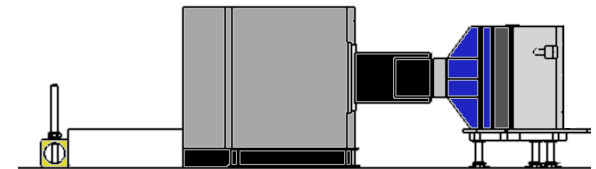
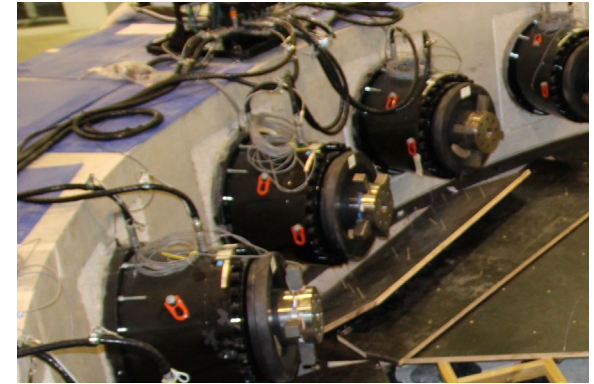
3) Banc d'essais au laboratoire EMGCU

Montage de l'essai

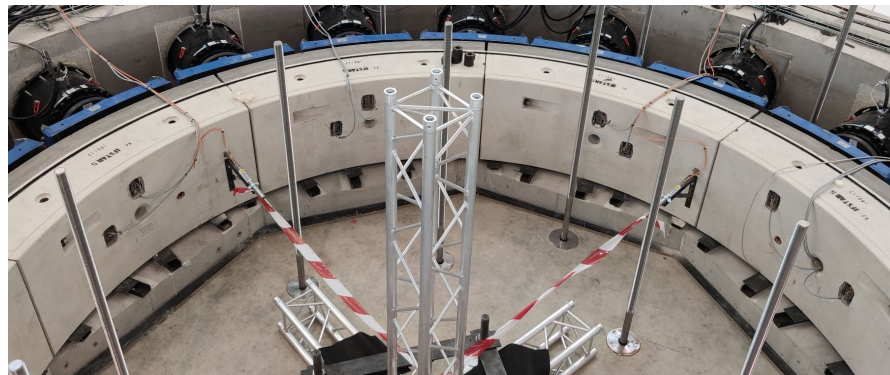
20 vérins de 500t



Diamètre : jusqu'à 6 m
Efforts : jusqu'à 20 x 3000 kN
Déplacements : jusqu'à 150
mm / vérin



Vue en coupe



3) Banc d'essais au laboratoire EMGCU

Instrumentation

- 100^{aine} de voies de mesure externe : déplacement 2D entre voussoirs, déplacement relatif anneau/dalle d'essai
- 100^{aine} de voies de mesure interne : capteurs de déformations et pressions coulés dans le voussoir, mesure de convergence de l'anneau, déplacement de la couche compressible

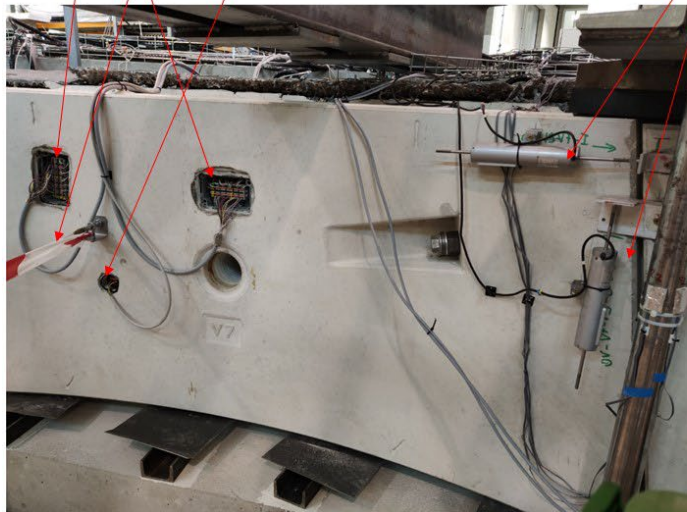
Sortie des capteurs de déformations et pressions coulés dans le voussoir.

Mesures de convergence de l'anneau

Déplacement 2D entre voussoirs

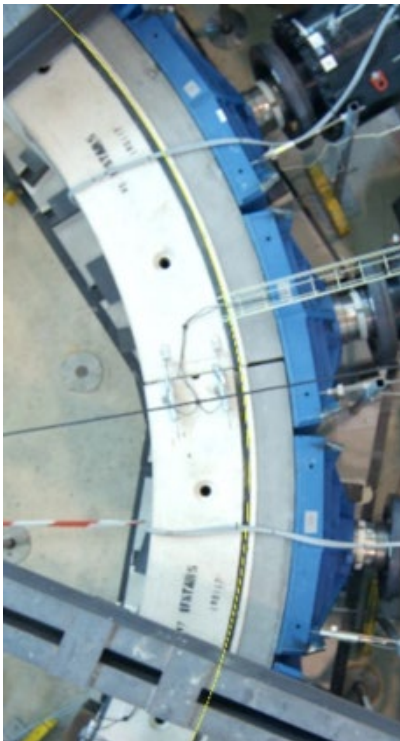
Déplacement relatif anneau/dalle d'essai

Déplacement couche compressible

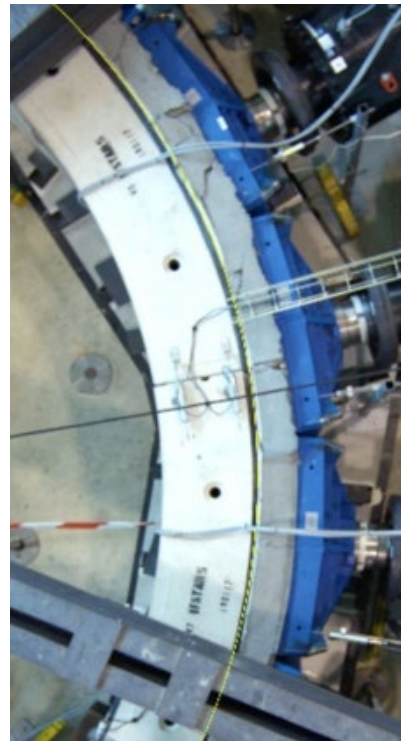


3) Banc d'essais au laboratoire EMGCU

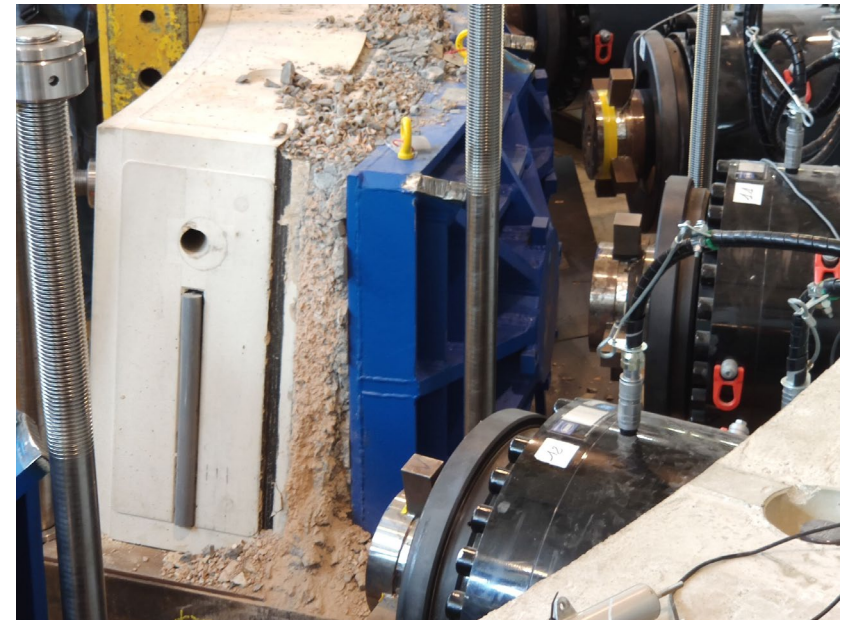
Premiers résultats



Avant



Après



*Endommagement de la couche
compressible en fin d'essai*



Bon fonctionnement du banc d'essai

Conclusions et perspectives

Le banc d'essai pour tester un anneau avec couche compressible intégré est validé :

- Plus de 250 capteurs ;
- Diagnostic visuel : vidéo HD ;
- Un montage original et exigeant développé au laboratoire EMGCU,

Premiers résultats :

Dans les premiers essais conduits :

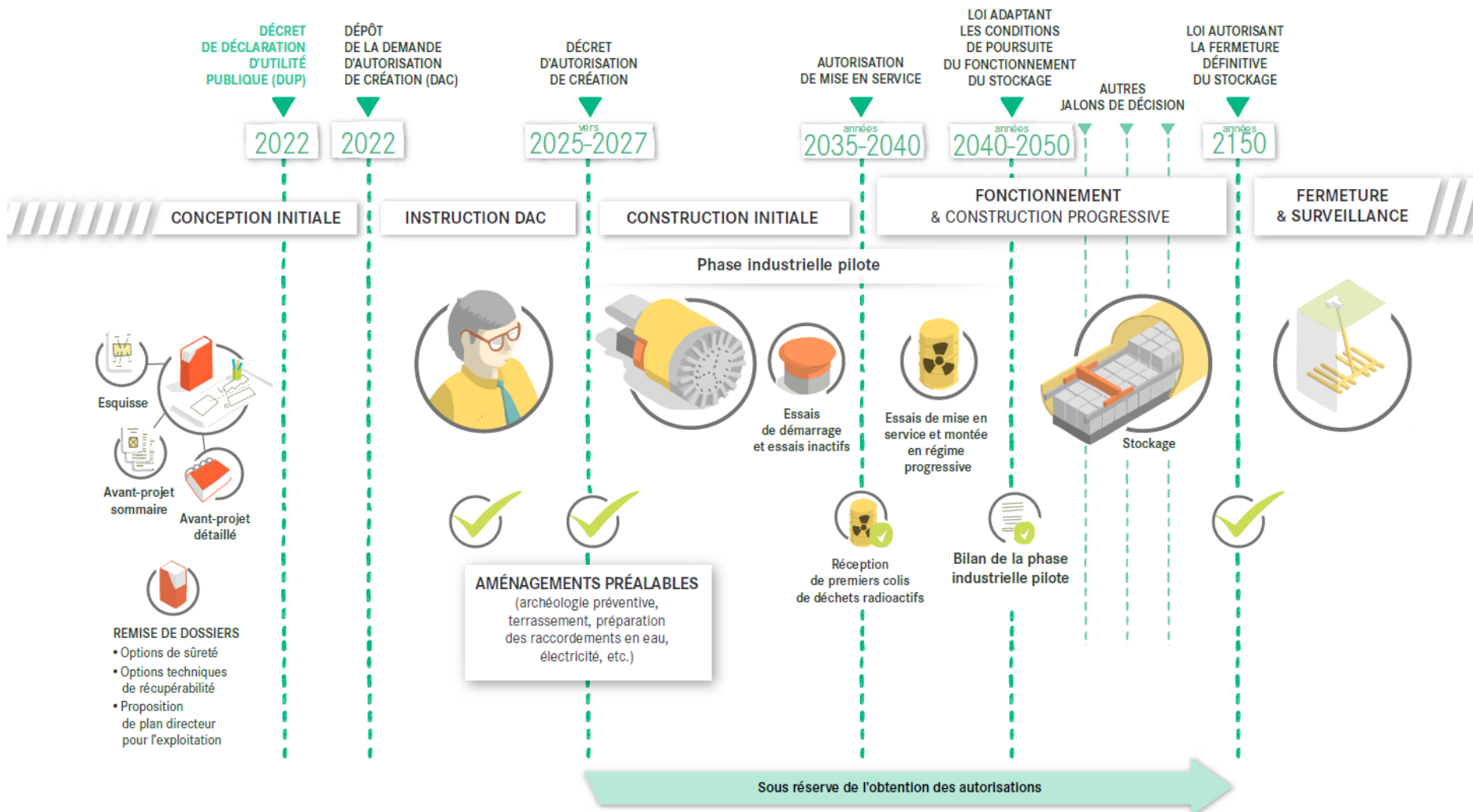
- Aucun dommage structurel de l'anneau de voussoirs n'a été observé ;
- Les mesures contraintes/déformations sont inférieures aux critères de dimensionnement ;
- La couche compressible VMC prouve son bénéfice en retardant le chargement de l'anneau.

Perspectives :

- 6 essais sont conduits dans le cadre de ce projet (travail en cours)
- Montage innovant pouvant être adapté à d'autres anneaux de voussoirs
- D'autres solutions de couche compressible pourront être testées.

Conclusions et perspectives

LES GRANDES ÉTAPES DU PROJET GLOBAL CIGÉO



Merci de votre attention



Contact :

Benjamin Terrade

benjamin.terrade@univ-eiffel.fr

Laura Kerner

laura.kerner@univ-eiffel.fr

Jad Zghondi

jad.zghondi@andra.fr