
mpcc17 - AMPHI-9, Jeudi 92 mai 2017, 16:36/16:38 (02mi)

Modélisation sous CAST3M d'alvéoles de stockage pour l'optimisation de leur instrumentation

E. Chapoulade¹, A. Chateauneuf², P. Breul³, A. Talon⁴, N. Gilardi⁵, G. Hermand⁶

(1, 2, 3, 4) Institut Pascal – Université Clermont Auvergne - Campus Universitaire des Cézeaux, 4 impasse Blaise Pascal, 63178 Aubière

E-mail :

¹ *Elodie.Chapoulade@etudiant.univ-bpclermont.fr*

² *Alaa.Chateauneuf@univ-bpclermont.fr*

³ *Pierre.Breul@univ-bpclermont.fr*

⁴ *Aurelie.Talon@univ-bpclermont.fr*

(5, 6) Andra, 1/7 rue Jean Monnet, Parc de la Croix-Blanche 92298 Châtenay-Malabry cedex

E-mail :

⁵ *nicolas.gilardi@andra.fr*

⁶ *guillaume.hermand@andra.fr*

RÉSUMÉ. Dans le cadre du projet de stockage profond des déchets radioactifs Cigéo, des alvéoles situées à -490m dans une couche d'argilite devront être instrumentées. Le Laboratoire Souterrain créé en 2000 permet de mener des travaux de recherche pour l'observation et la surveillance des tunnels. Des extensomètres à corde vibrante sont des capteurs ponctuels permettant de mesurer la déformation d'un ouvrage en béton. Ils sont mis en place dans le soutènement et le revêtement des tunnels. Le soutènement compte 8 emplacements régulièrement répartis dans l'annulaire (tous les 45°). Le revêtement compte 4 zones de mesure, aux emplacements les plus critiques d'un anneau. Un modèle numérique simplifié va permettre d'optimiser l'emplacement et le nombre de ces capteurs. Ce modèle compte des nœuds et des poutres (seg2) pour dessiner l'ouvrage ainsi que des ressorts pour représenter le sol encaissant, chaque nœud est le point de mesure du déplacement. Pour une rigidité et un chargement donné, le modèle donne une déformée annulaire. En faisant varier ces deux paramètres, le modèle va donner une base de données des déplacements. Un modèle inverse permet de retrouver la cause de cette déformée.

ABSTRACT. In the context of the project of deep storage of Cigeo's radioactive waste, cells located at -490m in argilite layer must be monitored by sensors. This is permitted by the underground laboratory (created in 2000) which enables us to conduct research on the observation and monitoring of the tunnels. Vibrating sting extensometers are one-time sensors which are used to measure the deformation of a given concrete structure. They are implemented in the support and the coating of the tunnels. The support are monitored in 8 locations placed at regular intervals along the ring (every 45 °). The coating has 4 areas of measurement situated on the most critical locations of a ring. A simplified numerical model will allow to optimize the location and number of these sensors. This model uses nodes and beams (seg2) to represent the load as well as springs to represent the surrounding soil. Each node is a measurement point for the displacement. For one rigidity and one given load, the model gives a distorted ring. By varying these two parameters, the model will provide a database of the displacements. A reverse model allows us to find the cause of this distortion.

MOTS-CLÉS : *modèle, tunnel, instrumentation, déformée, monitoring.*

KEY WORDS : *model, tunnel, instrumentation, deformed, monitoring.*

- La GCR (Galerie de Conception Rigide) qui est dans le sens de la contrainte horizontale majeure suivant un soutènement avec des boulons radiaux de 3 m tous les 1,20 m et un béton projeté en deux couches de 10 cm chacune puis un revêtement coulé en anneau de 27 cm d'épaisseur ;
- La GER (Galerie d'Essai des Revêtements) suivant le sens de la contrainte horizontale mineure qui compte cinq types de revêtements différents le long de la galerie.

2.3 Instrumentation

L'instrumentation des galeries, pour les mesures des déformations, se fait essentiellement à l'aide d'ECV (Extensomètre à Corde Vibrante) et de FO (Fibre Optique). Dans le soutènement, les ECV sont mis en place avant la projection du béton et permettent de suivre les déformations orthoradiales. Seize capteurs sont installés dans le soutènement (en huit secteurs) à 5 cm de l'extrados et de l'intrados. Dans le revêtement, des groupes de quatre extensomètres vont être placés en reins, en voûte et en contre-voûte pour mesurer les déformations radiales, longitudinales et tangentiels à l'intrados et à l'extrados du revêtement.

Les FO permettent de suivre les déformations et la température. Elles sont mises en place entre les cales compressibles et le béton projeté en périphérie de l'anneau mais également longitudinalement afin de suivre la température le long d'une alvéole.

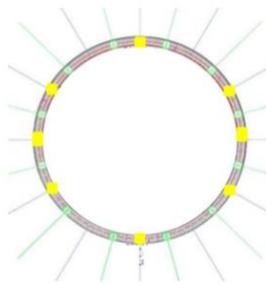


Figure 2. Emplacement des ECV (en jaune) dans le soutènement des galeries. « Source Andra »

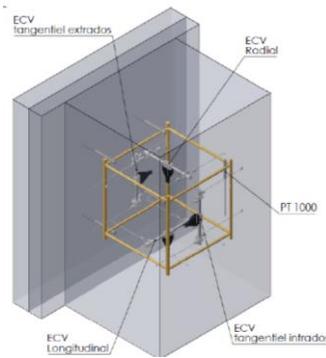


Figure 3. Emplacement des capteurs dans le revêtement, en voûte, en contre-voûte et aux reins. « Source Andra »

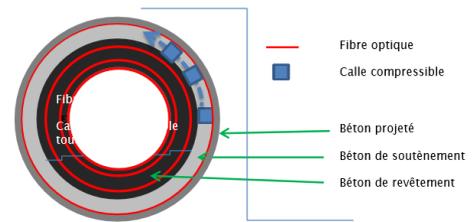


Figure 4. Emplacement des FO dans un anneau d'alvéole. « Source Andra »

3. Modélisation des alvéoles

L'objectif principal de ce travail est de développer une méthodologie d'optimisation des instrumentations pour suivre le comportement des alvéoles. Dans un premier temps, seules les déformations seront prises en compte. Pour ce faire, la première étape porte sur le développement d'un modèle numérique des alvéoles sous cast3m. Par la suite, un modèle inverse d'instrumentation sera mis en place pour permettre d'étudier l'optimisation de l'emplacement des capteurs. Les travaux présentés ici portent sur l'état d'avancement du développement du modèle numérique sous cast3m.

Le modèle numérique représentera deux annulaires de bétons s'inspirant des ouvrages du Laboratoire Souterrain. Ces ouvrages étant instrumentés, l'Andra possède des informations réelles (notamment sur les déformations). La forme de la zone de fracturation n'étant pas la même suivant l'orientation l'ouvrage, les deux représentations sous cast3m se feront suivant chacune des deux contraintes horizontales. La galerie GER suivant la contrainte horizontale mineure possède les caractéristiques réelles suivantes :

- diamètre excavé de 5,40 m pour un diamètre final de 4,30 m,
- soutènement avec :
 - o 12 cales compressibles placées longitudinalement sur toute la périphérie et ancrées au terrain par un boulon HA16 de 1,80 m de long scellé à la résine,

- 12 boulons de soutènement de type H22 de 20m de long (6 en voûte et 6 en sole)
- béton de propreté de 3 cm (projeté),
- 2*9 cm de béton projeté fibré (B25),
- revêtement rigide en béton (C60/75) coffré intrados de 34 cm d'épaisseur (mis en place environ 6 mois après l'excavation pour stopper les convergences de la galerie une fois la convergence maximale atteinte),
- en contre voûte, radier en béton B25 (+ treillis soudé).

Le modèle physique sous cast3m est constitué d'éléments poutres à deux nœuds. Un anneau compte deux couches de béton (soutènement + revêtement) et 8 + 4 points de mesure, comme l'emplacement des capteurs dans le soutènement et le revêtement. Au niveau du soutènement, les points de mesure sont répartis régulièrement sur la périphérie de l'alvéole (tous les 45°), contre une mesure tous les 90° dans le revêtement. Sur chaque nœud, le sol est représenté par un ressort simulant la contrainte orthogonale de l'argilite. En fonction de la zone de fracturation du sol lors de la création de l'alvéole, la convergence va entraîner l'ovalisation de la galerie. Pour la galerie GER, la fracturation est comprise entre 0,6 et 0,8 diamètre respectivement en voûte et en contre-voûte, contre seulement 0,1 diamètre au niveau des reins. La raideur de chaque ressort simulant le sol va donc varier, mais les deux ressorts de chaque nœud auront la même rigidité.

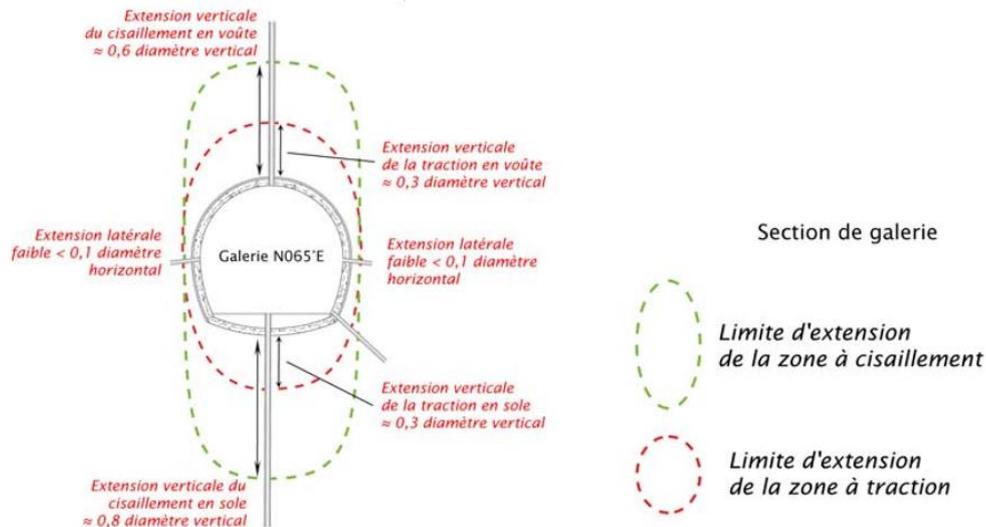


Figure 5. *Modèle de la fracturation induite dans les galeries orientées suivant la contrainte horizontale mineure. « Source Andra »*

Le modèle permet de mesurer les déplacements aux nœuds ainsi que les déformations aux endroits critiques de l'anneau (voûte + reins). Les résultats concernent la comparaison du comportement des deux modèles de tunnels sous Cast3m et de la variation de leur comportement en fonction de la variation des paramètres des modèles (béton et sol). Le sol travaille suivant une loi élastoplastique avec une zone endommagée autour du tunnel, suivi d'une zone saine ayant pour module d'Young $E = 6\text{ GPa}$ (+/- 3GPa) et un coefficient de Poisson $\nu = 0,3$ (+/- 0,1).

4. Conclusion

Le modèle permet d'obtenir une typologie de déformées, et un modèle inverse permet de remonter aux causes de ces déformations. L'optimisation de l'emplacement des extensomètres à corde vibrante permet de différencier les causes entre elles.

5. Bibliographie

- [AND 05] Andra, (2005). *Evaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse*. Dossier 2005 argile.
- [AND 14] Andra, (mars 2014). *Programme de R&D 2013-2016*.
- [CAS 03] Cast3M, (2003). *Cast3M 2016*. Site internet.
- [LEL 16] lelotenaction, (2016). Site internet.