

## Comportement d'un anneau de voussoirs à couche compressible : suivi de santé structurelle par capteurs noyés

<b>Année</b>	2025
<b>Laboratoire principal</b>	MAST - EMGCU - SCHMIDT Franziska
<b>Référent principal</b>	
<b>Spécialité de la thèse</b>	Génie Civil
<b>Affichable</b>	oui
<b>Axe</b>	2 - COP2017 - Améliorer l'efficacité et la résilience des infrastructures
<b>Objectif</b>	4 - Adapter au meilleur coût les infrastructures au changement climatique et aux nouvelles exigences d'exploitation et d'entretien
<b>Site principal</b>	Marne-la-Vallée
<b>Laboratoire extérieur et temps passé</b>	ANDRA, Laboratoire Souterrain de Meuse Haute-Marne - 0 mois
<b>Etablissement d'inscription</b>	UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL
<b>Ecole doctorale</b>	SCIENCES, INGENIERIE ET ENVIRONNEMENT (SIE)
<b>Directeur prévu</b>	SCHMIDT Franziska - Université Gustave Eiffel - MAST - EMGCU
<b>Type de financement prévu</b>	Contrat doctoral
<b>Employeur prévu</b>	Université Gustave Eiffel
<b>Origine du financement prévu</b>	Université Gustave Eiffel
<b>Origine du co-financement prévu</b>	
<b>Contrat support prévu</b>	RP2-F18045

### Résumé :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des essais technologiques et de démonstration du projet Cigéo, le projet français de centre de stockage profond (500 m) de déchets radioactifs en lien avec le dimensionnement des ouvrages pour une future durée d'exploitation de l'ordre de 150 ans. Au creusement, la roche argileuse environnante présente une convergence initialement anisotrope qui évolue au cours du temps.

L'Andra avec ses partenaires a mis au point une solution innovante pour limiter l'effet de la convergence du terrain sur le chargement du revêtement en béton en « plafonnant » les efforts dans les voussoirs. Cette solution repose sur l'utilisation d'une couche compressible intégrée à l'extrados du voussoir. Cette couche compressible a pour effet de limiter les

contraintes radiales transmises à l'anneau de voussoir tout au long de la phase d'exploitation.

Devant l'enjeu du programme, l'Andra a sollicité l'Université Gustave Eiffel afin de mettre au point un banc d'essai permettant de soumettre cet anneau à un champ de déplacements isotrope ou anisotrope reproduisant la convergence du terrain à différents âges de la vie des ouvrages. Depuis 2021, des essais sont conduits sur anneau de voussoirs avec différents types de chargement – isotrope, anisotropes de ratio variables, avec ou sans couches compressibles. Au 1er décembre 2022, quatre essais ont été réalisés dans un programme comptant quinze essais réalisés d'ici fin 2025. Ces essais de grande envergure sont instrumentés de façon exhaustive générant un grand volume de données brutes. Parmi les 250 capteurs utilisés, une centaine sont des capteurs noyés dans les voussoirs.

Dans ce contexte, les objectifs de cette thèse sont multiples et pluridisciplinaires. La·le doctorant·e participera activement au suivi de la campagne d'essais à échelle 1. Grâce aux résultats de ces essais, il·elle développera un outil permettant de caractériser la santé structurelle d'un anneau de voussoirs instrumentés à partir de la seule instrumentation interne. Cet outil pourra prendre en compte les exigences de service requises par les galeries du projet Cigéo. Il·elle pourra associer les méthodes analytiques déjà développées par le laboratoire EMGCU à des méthodes de calcul numérique de type éléments finis et analyse inverse.

Cette étude sera dirigée par F. Schmidt (Docteur HDR), directrice adjointe du laboratoire EMGCU, encadrée par les responsables de cette étude : B. Terrade (Docteur) et L. Kerner (Docteur) pour l'Université Gustave Eiffel et J. Zghondi (Docteur) pour l'Andra.

**Mots-clefs :** Voussoirs à couche compressible ; essai échelle 1 ; SHM ; tunnel ; stockage géologique profond.

**Title :** Structural behaviour of compressible segments ring of a deep tunnel : structural health monitoring via embedded sensors

This thesis is part of the technological and demonstration tests of the Cigéo project, the French project for a deep storage center (500 m) for radioactive waste in connection with the sizing of the works for a future operating period of the order of 150 years. When digging, the surrounding clayey rock presents an initially anisotropic convergence which evolves over time.

Andra with its partners has developed an innovative solution to limit the effect of terrain convergence on the loading of the concrete covering by “capping” the forces in the segments. This solution is based on the use of a compressible layer integrated into the upper surface of the segment. This compressible layer has the effect of limiting the radial stresses transmitted to the segment ring throughout the operating phase.

**Abstract :**

Faced with the challenge of the program, Andra contacted the Gustave Eiffel University in order to develop a test bench allowing this ring to be subjected to an isotropic or anisotropic field of displacements reproducing the convergence of the terrain at different ages of the life of the works. Since 2021, tests have been carried out on a ring of segments with different types of loading – isotropic, anisotropic with variable ratios, with or without compressible layers. As of December 1, 2022, four tests have been carried out in a program of fifteen tests carried out by the end of 2025. These large-scale tests are exhaustively instrumented, generating a large volume of raw data. Among the 250 sensors used, around a hundred

are sensors embedded in the segments.

In this context, the objectives of this thesis are multiple and multidisciplinary. The doctoral student will actively participate in monitoring the scale 1 test campaign. Thanks to the results of these tests, he/she will develop a tool to characterize the structural health of a ring of instrumented segments based on the only internal instrumentation. This tool will be able to take into account the service requirements required by the galleries of the Cigéo project. He/she will be able to combine the analytical methods already developed by the EMGCU laboratory with numerical calculation methods such as finite elements and inverse analysis.

This study will be directed by F. Schmidt (Doctor HDR), deputy director of the EMGCU laboratory, supervised by the leaders of this study: B. Terrade (Doctor) and L. Kerner (Doctor) for the Gustave Eiffel University and J. Zghondi (Doctor) for Andra.

**Keywords :** Compressible arch segment ; full scale testing, SHM ; tunnel ; deep geological storage