



LES TROPHÉES DE L'INNOVATION SOLSCOPE 2023

Prix de l'ingénierie géotechnique de l'année

Musée des Beaux-Arts – Reims (51)

COORDONNÉES

Groupe Géotec



9 boulevard de l'Europe
21800 QUETIGNY



03 80 48 93 20



secretariat.siege@geotec.fr



Intervenants :

Thomas BONNET, Chef de projet Géotec, Cellule calculs, Région Nord-Ouest
Laurent PEZZOLO, Directeur technique Géotec, Région Nord-Est

Sommaire

04 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

11 PRÉSENTATION DU PROJET

13 La spécificité technique

19 Le gain en fiabilité

26 La dimension responsable

27 CONCLUSION



PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

UN GROUPE FAMILIAL

- ✦ Création en 1973 par François Barnoud.
- ✦ Aujourd'hui dirigé par son fils Olivier Barnoud.
- ✦ Un actionnariat majoritairement familial aujourd'hui ouvert aux cadres de Direction et aux collaborateurs.

UN GROUPE EXPERT

- ✦ Bureau d'études en ingénierie géotechnique et environnementale conseillant l'ensemble des interlocuteurs de l'acte de construire.
 - Maîtres d'Ouvrage, Maîtres d'Œuvre, Entreprises, Bureaux de Contrôle, Experts.
- ✦ Réalise l'ensemble des prestations :
 - Sondages géotechniques.
 - Ingénierie des projets les plus complexes.
 - Essais in-situ et en laboratoire.
 - Conception et fabrication des sondeuses.
- ✦ Aujourd'hui un des leaders de la géotechnique en France.

CHIFFRES CLÉS 2022

100 M€

**DE CHIFFRE
D'AFFAIRES**



14

FILIALES



**+ de
50%**

**DE SALARIÉS
ACTIONNAIRES**



900

COLLABORATEURS



**20 000
PROJETS
RÉALISÉS**



8

ACTIVITÉS



13%

**DE CROISSANCE
PAR RAPPORT À 2021**



37

**IMPLANTATIONS
DANS LE MONDE**



88/100

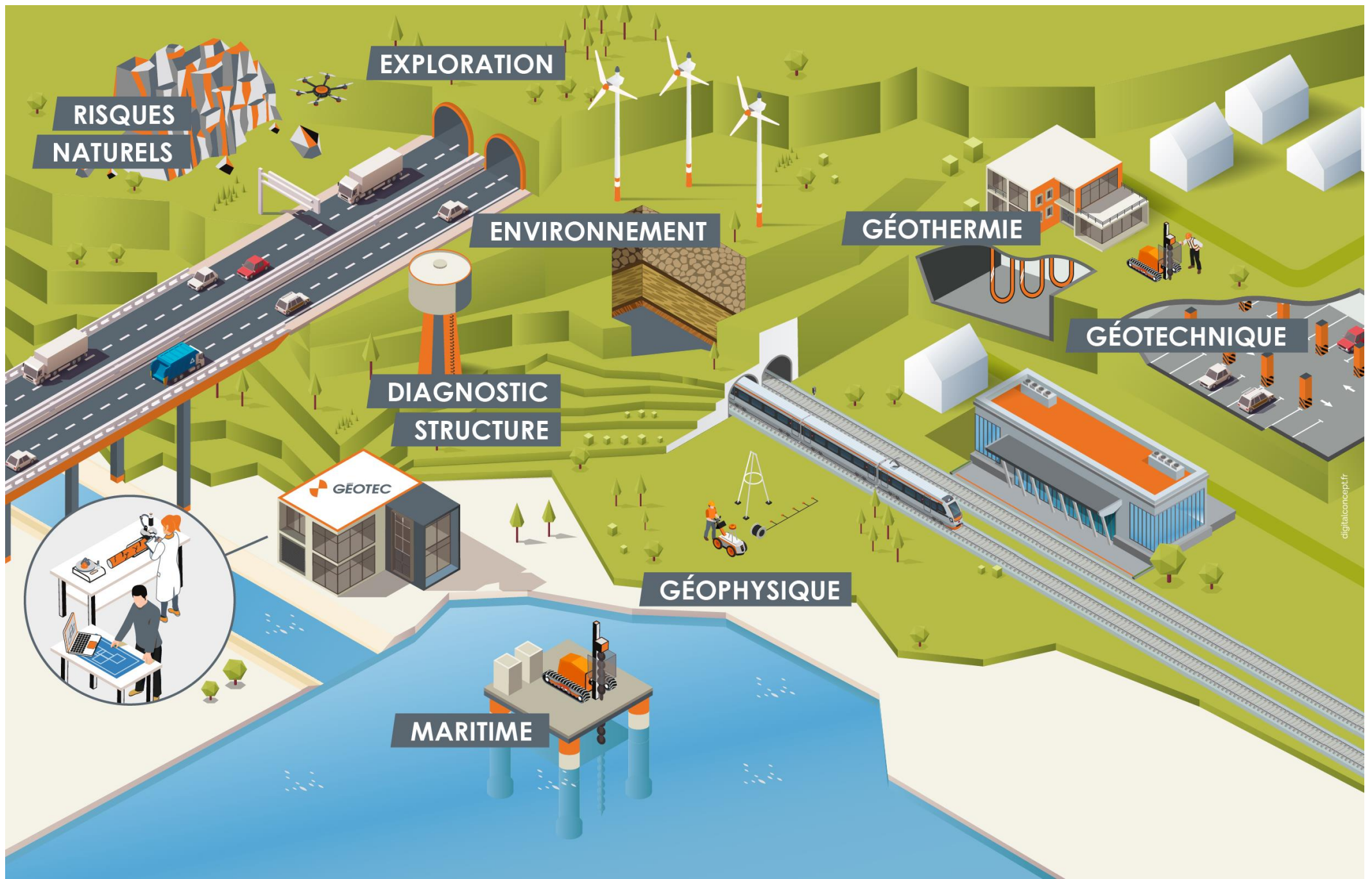
**INDEX
ÉGALITÉ H/F**



12

LABORATOIRES

NOS ACTIVITÉS



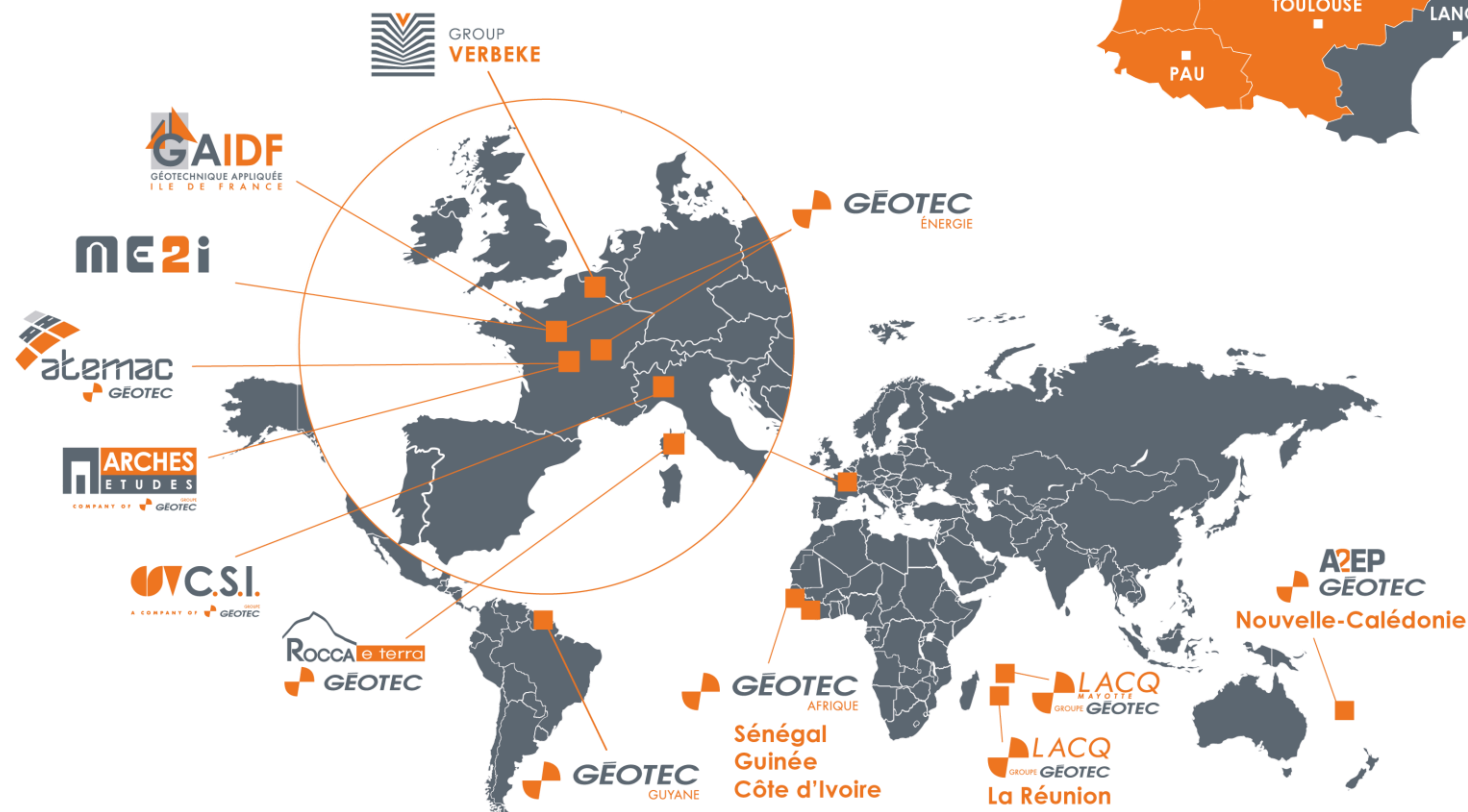
IMPLANTATIONS

RÉGION NORD-OUEST

RÉGION NORD-EST

RÉGION SUD-OUEST

RÉGION SUD-EST



NOTRE DÉMARCHE RSE

PARTICIPATION AUX CHANGEMENTS SOCIÉTAUX

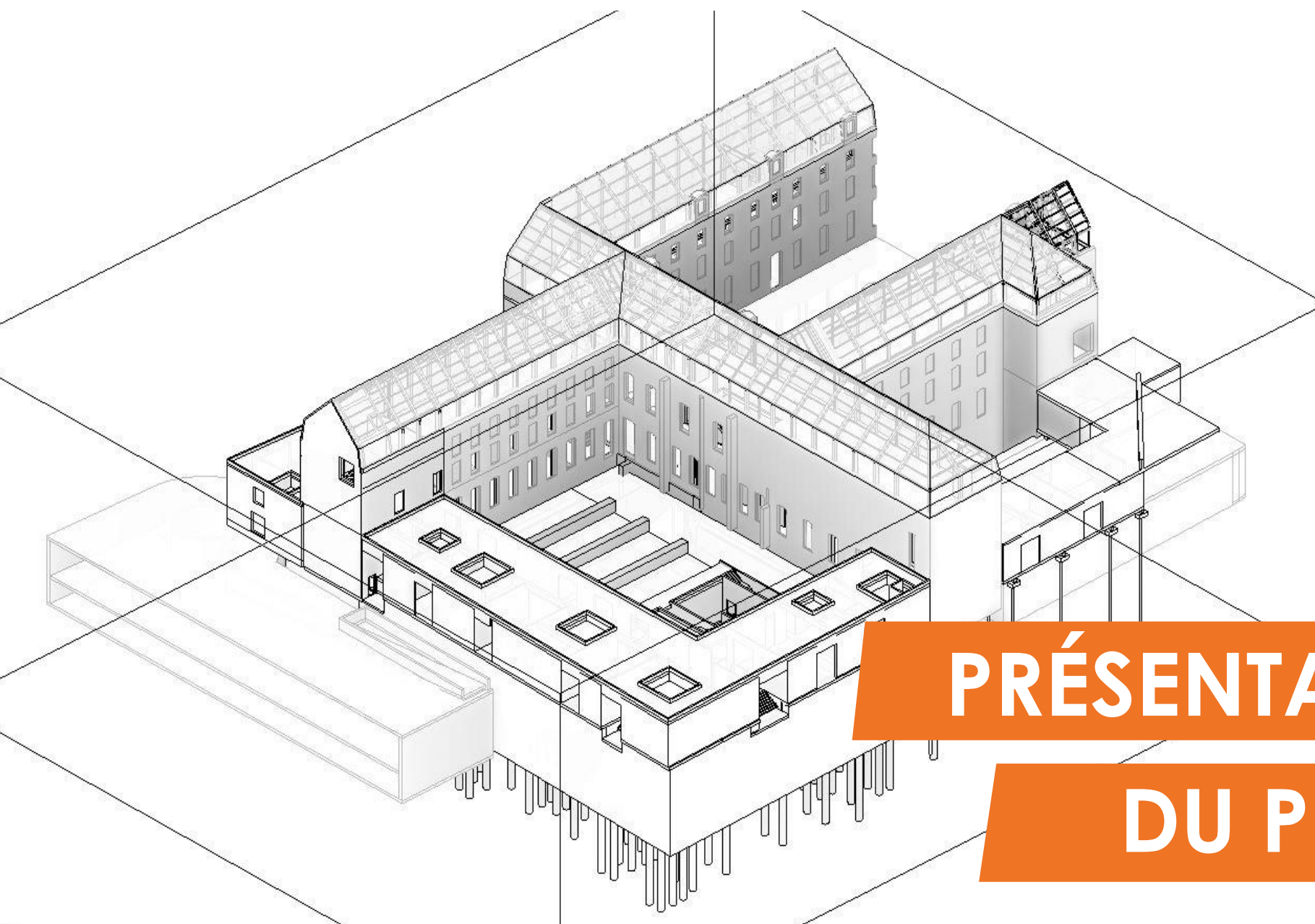
- ❑ Responsabilité éthique et environnementale.
- ❑ Epanouissement et sécurité des collaborateurs.
- ❑ Amélioration du bien commun, des territoires et des régions.
- ❑ Soutien à des associations.
- ❑ Participation à des programmes de développement.



DES ACTIONS CONCRÈTES



- ❑ Charte éthique.
- ❑ Fresque du Climat
- ❑ Fondation Géotec.
- ❑ Charte Climat et charte Mixité Syntec-Ingénierie.
- ❑ Véhicules hybrides et électriques et forfait mobilité durable.
- ❑ Fresque du Climat.



PRÉSENTATION DU PROJET

INTRODUCTION

Dans le cadre de la rénovation du Musée des Beaux Art de la ville de Reims, la communauté urbaine du **Grand Reims** a confié à **Géotec** des missions d'études géotechniques de **conception G2 Phases AVP et PRO** (ingénierie) et de **supervision géotechnique d'exécution (G4)**.

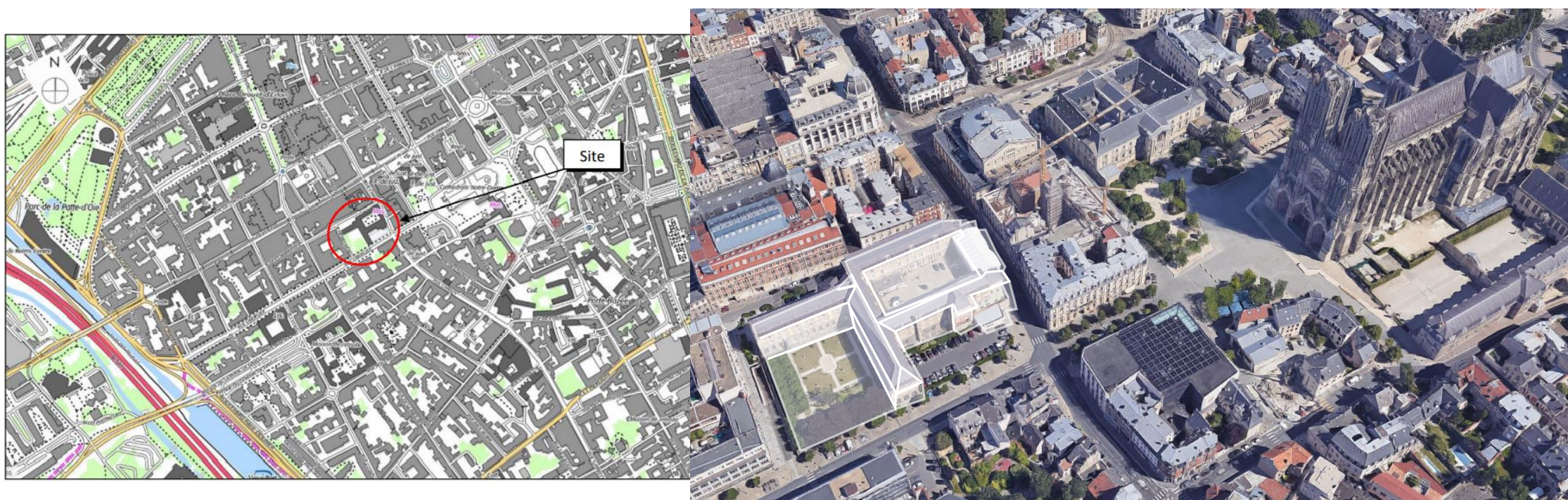
Dans le cadre de ces études nous présenterons les trois paragraphes ci-après :

1. **La spécificité technique**
2. **Le gain en fiabilité**
3. **La dimension responsable**

LA SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE



Le projet consiste en la rénovation, restructuration et extension du Musée des Beaux-Arts actuellement situé en plein centre ville de Reims près de la cathédrale.

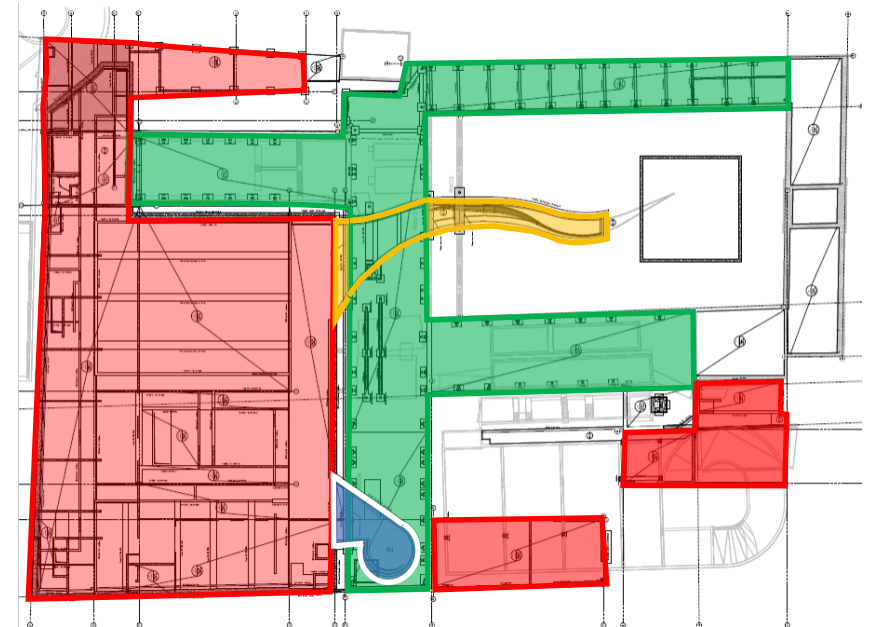
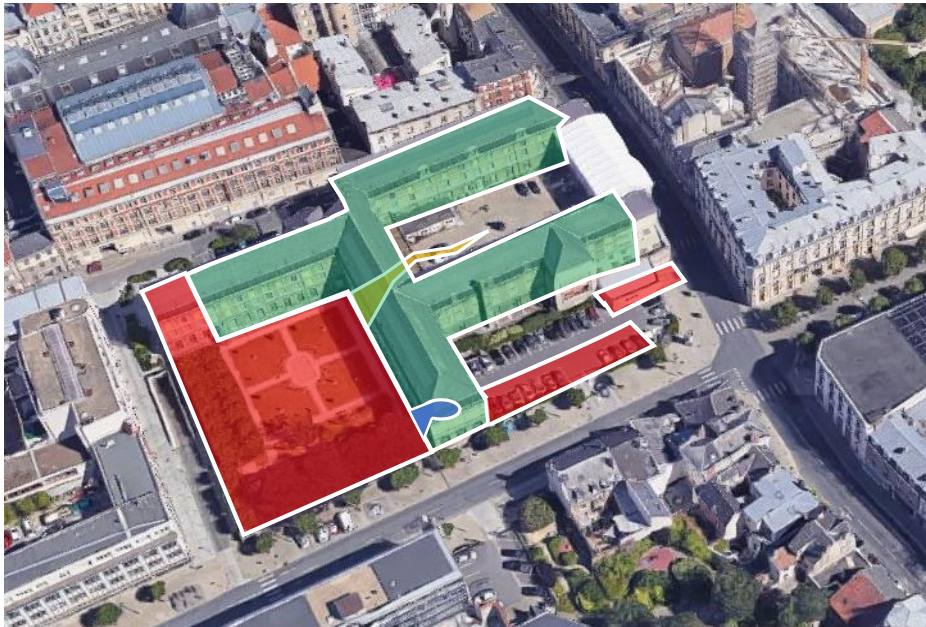


LA SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE



Le projet comportera :

- ❖ **Restructuration du bâtiment existant** du XVIII^{ème} siècle avec la création de planchers R+2 portés sur micropieux à l'intérieur de l'existant (4 000 m² environ).
- ❖ **Extension du musée** par un bâtiment de type Rdc sur 2 niveaux de sous-sol débordants à usage d'auditorium (sur environ 2 200 m² d'emprise au sol) en lieu et place du jardin actuel. Création de locaux techniques et d'une boutique.
- ❖ La **création d'un escalier intérieur** d'accès au 2^{ème} niveau de sous-sol de l'extension depuis l'intérieur du bâtiment du XVIII^{ème} siècle.
- ❖ La **création de la Faille Dorée** qui est un escalier puis une galerie de passage en sous-œuvre de l'aile existante permettant l'accès à l'auditorium R-2 depuis la cour extérieure existante.

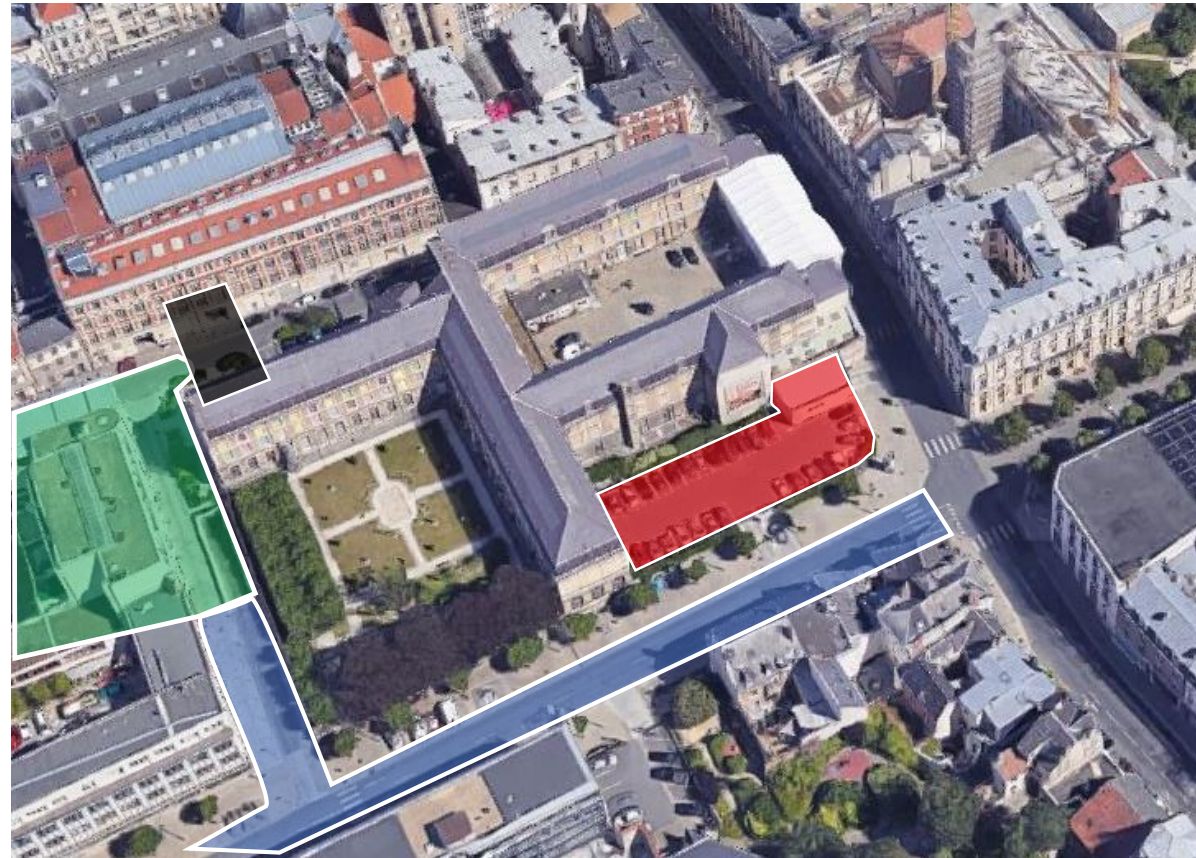


LA SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE



Les Avoisinants :

- ❖ Parking rue Jadart de type R-3 situé sous l'école des beaux arts (bâtiment de type R+3) et mitoyen au projet.
- ❖ Parking rue Libergier de type R-2 (bâtiment boutique posé sur l'ouvrage existant).
- ❖ Les rues Henri Menu et Libergier.
- ❖ Les bâtiments existants conservés de type R+2 et qui pour certains sont minés par des caves voûtées (une partie de l'aile Ouest sera démolie pour insérer le projet).



LA SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE

Le choix de solutions de fondations et de soutènement multiples adaptées au phasage spécifique des travaux.

Les soutènements :

✦ Extension, auditorium :

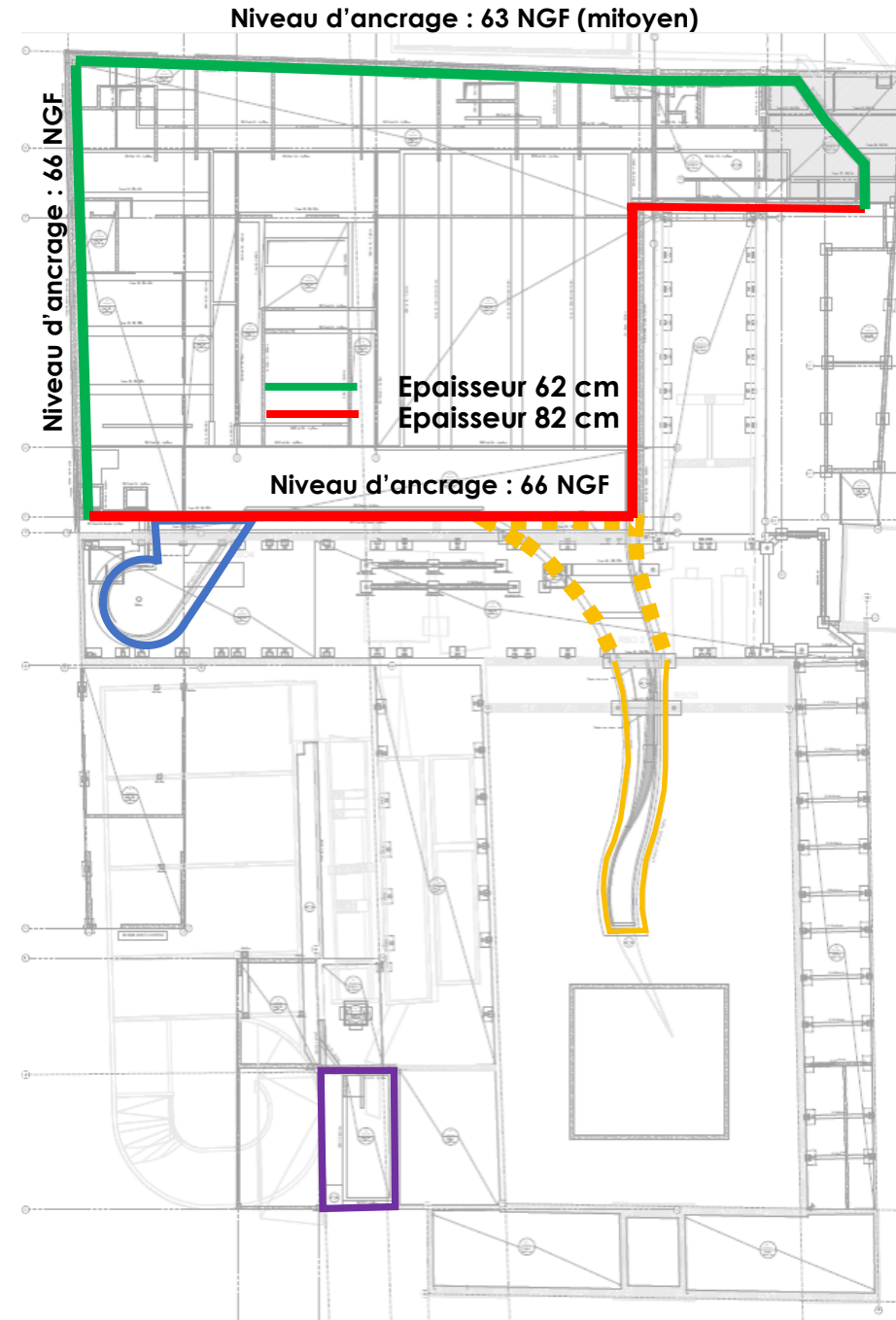
- Hauteur à soutenir : 8,0 à 8,5 m,
- Type d'écran : paroi moulée de 0,62 et 0,82 m (côté mitoyen)
- Ancrage provisoire : butons horizontaux,
- Ancrage définitif : planchers
- Gestion de l'eau en phase provisoire : bouchon injecté de 3 m d'épaisseur dans la craie.

✦ Local technique :

- Hauteur à soutenir : 3,5 m,
- Type de fouille : Puits blindés,
- Ancrage provisoire : butons inclinés,
- Ancrage définitif : planchers.

✦ L'escalier intérieur :

- Hauteur à soutenir : 8,5 m
- Type de fouille : terrassement traditionnel avec exécution du voile définitif à l'avancement associé à une micro-berloise en guise de blindage
- Ancrage provisoire : rigidité cylindrique du voile + butons horizontaux,
- Ancrage définitifs : rigidité cylindrique + planchers,
- Gestion de l'eau : exécution d'un bouchon injecté au préalable sur 3 m d'épaisseur en base de micro-berloise.



LA SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE

Le choix de solutions de fondations et de soutènement multiples adaptées au phasage spécifique des travaux.

Les fondations :

❖ Extension, auditorium :

Fondations profondes de type pieux tarière creuse $\varnothing$ 420, 620 et 820 mm de 8 à 10 m de profondeur depuis le fond de fouille et exécutés avant terrassement,

❖ Local technique :

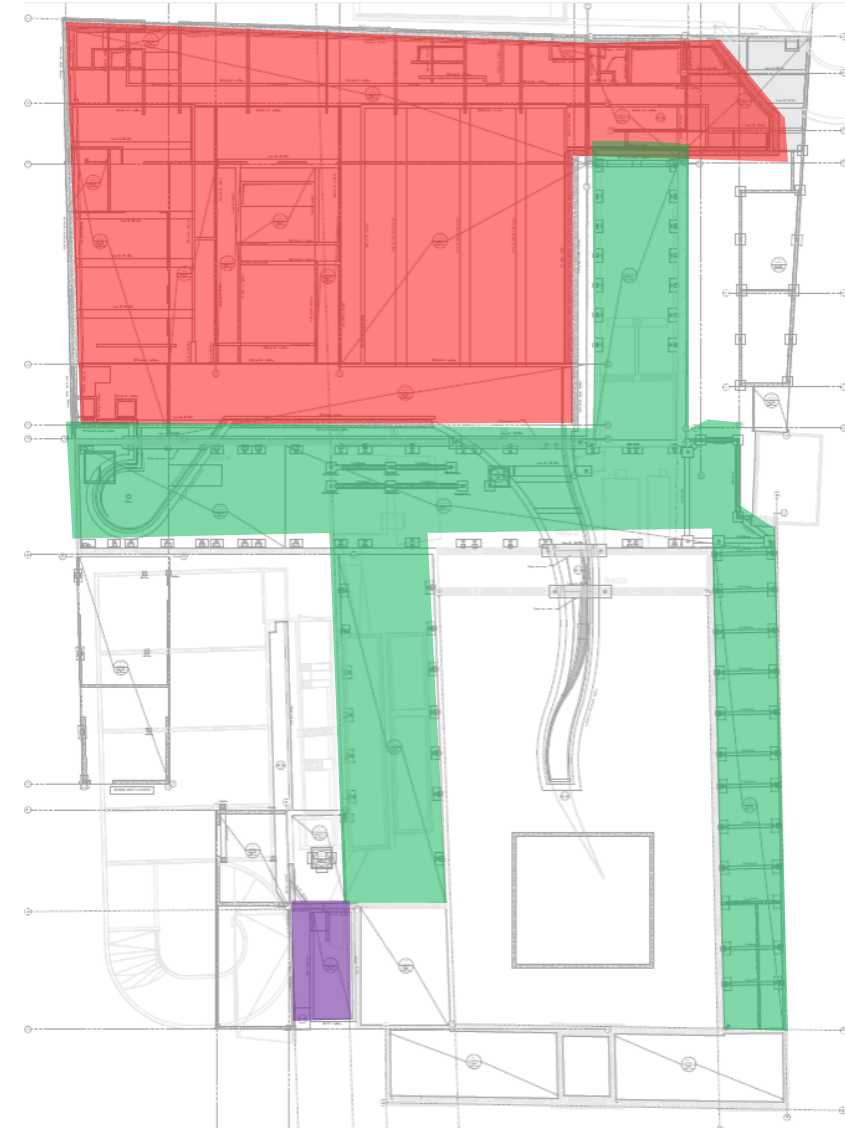
Fondations profondes de type pieux tarière creuse $\varnothing$ 420 mm de 10 à 14 m de profondeur (exécutées depuis le TN).

❖ La restructuration des existants :

Micropieux de type III $\varnothing$ 250 mm avec tube $\varnothing$ 139,7 à 159,0 mm épaisseur 11 à 14,2 mm de 16 à 19 m de profondeur, traversant pour certains les caves voûtées existantes (tubage),

❖ Reprise en sous-œuvre du bâtiment existant au droit de la Faille Dorée et de l'escalier interne :

Doublés et triplés de micropieux de type III $\varnothing$ 250 mm avec tube $\varnothing$ 139,7 mm épaisseur 11 mm de 13 à 19 m de profondeur (poutres BA de forte section),

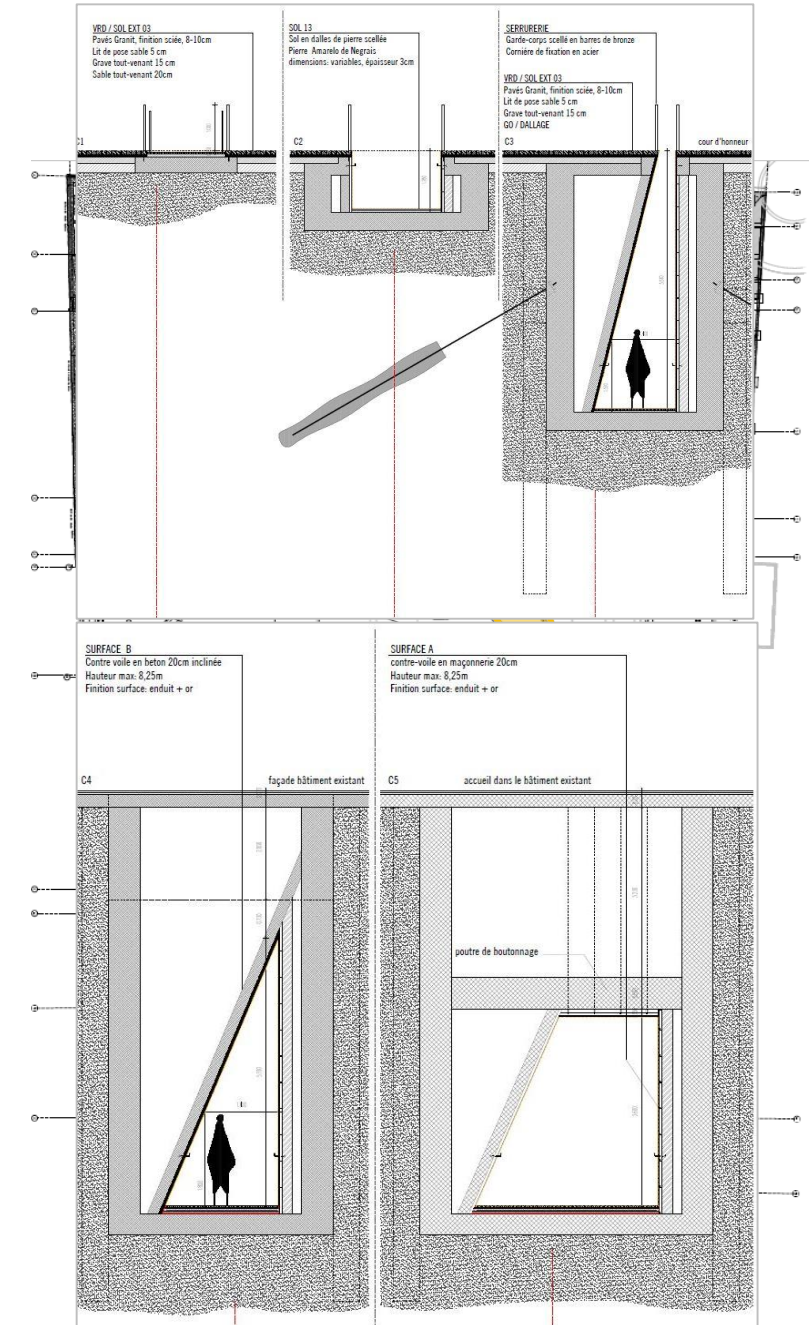
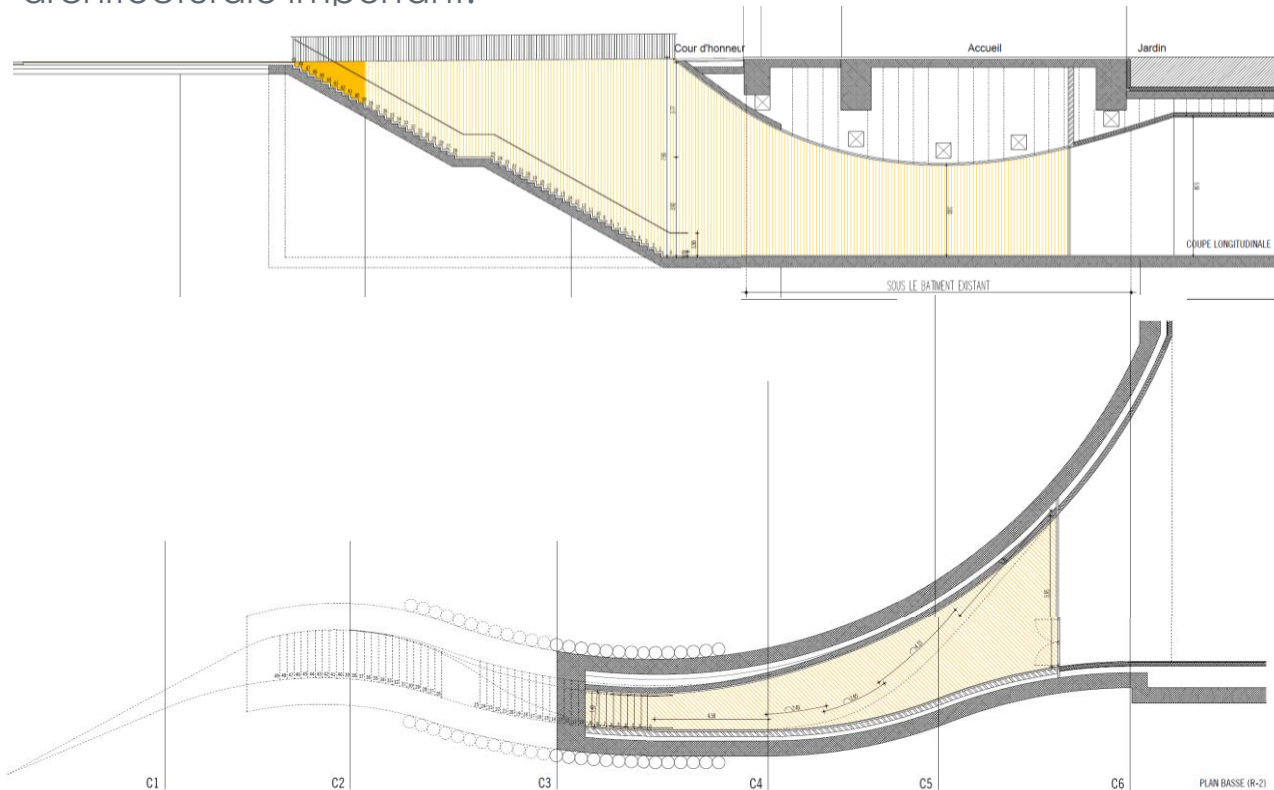


LA SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE

Le choix de solutions de fondations et de soutènement multiples adaptées au phasage spécifique des travaux.

La faille dorée :

Escalier de 14,5 m de long comportant un palier intermédiaire et qui descend jusqu'au 2^{ème} niveau de sous-sol de l'auditorium vers **-8,3 m/T.N.** Prolongement de cet escalier par un **passage sous le bâtiment existant de 15 m de long** afin de permettre l'accès à l'auditorium. **Voiles** définitifs et **radier de 50 cm d'épaisseur**. Habillage architecturale important.



LE GAIN EN FIABILITÉ

La faille dorée :

Dans le cadre de la mission G2 PRO nous avons étudié le mode de soutènement de l'escalier de la Faille Dorée. Ce soutènement a donc une hauteur croissante et doit être libre sur sa hauteur soutenue sur une grande partie. Afin de dimensionner une solution stable tant en phase provisoire que définitive nous ne pouvions utiliser les modèles de calcul usuels en 2D. Nous avons donc décomposé le soutènement en plusieurs zones :



En provisoire :

- ✦ Pour la partie extérieure nous avons dimensionné **une paroi discontinue de pieux sécants** afin de profiter de son étanchéité relative en phase provisoire et de la rigidité des pieux pour les déplacements. **Un lit de butons provisoires** a été également retenu (tubes métalliques espacés tous les 4 m).
- ✦ Pour la partie intérieure sous le bâtiment nous avons proposé l'exécution des terrassements à l'abri d'une **paroi de micropieux jointifs** associée à **deux lits de butons provisoires**.



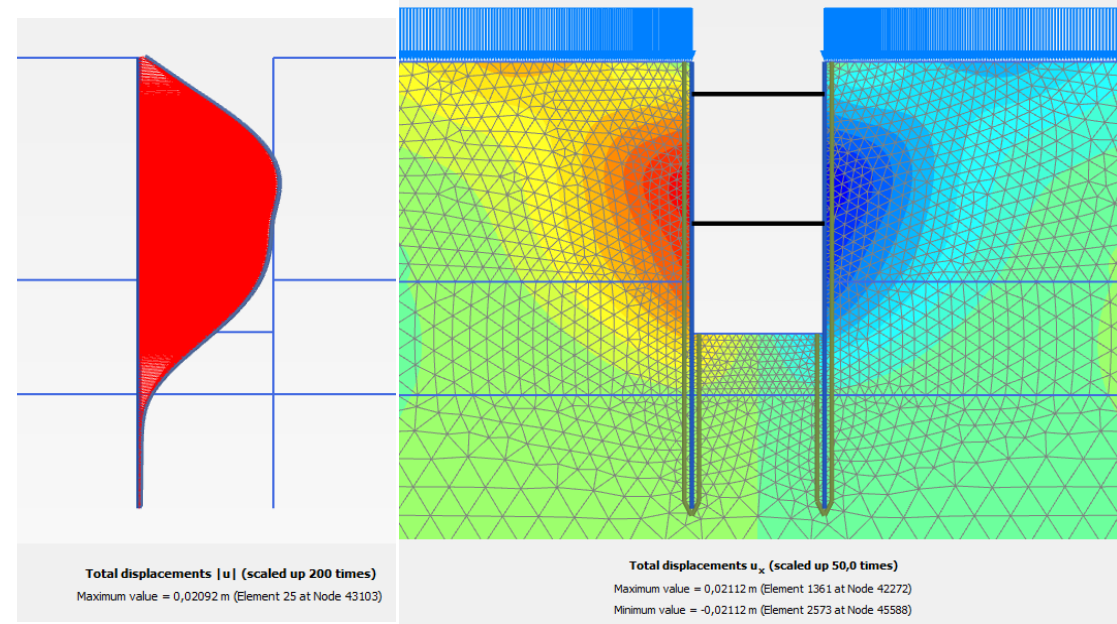
En définitive :

- ✦ Partie extérieure : pieux sécants + voile BA de 50 cm + radier niveau bas (étanche) + 1 bouton BA à notre demande.
- ✦ Partie en sous-œuvre : voile BA 50 cm + radier niveau bas (étanche) + bouton définitif en BA (section 0,5 x 0,5 m).

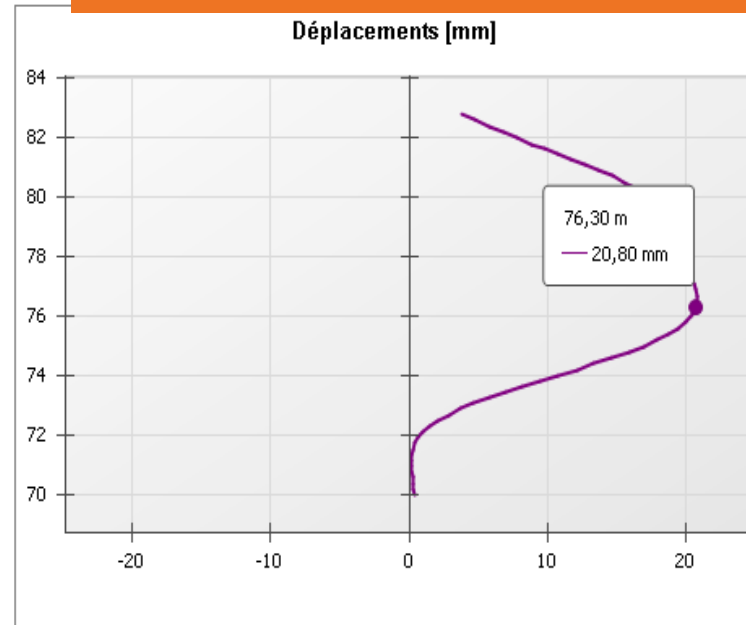
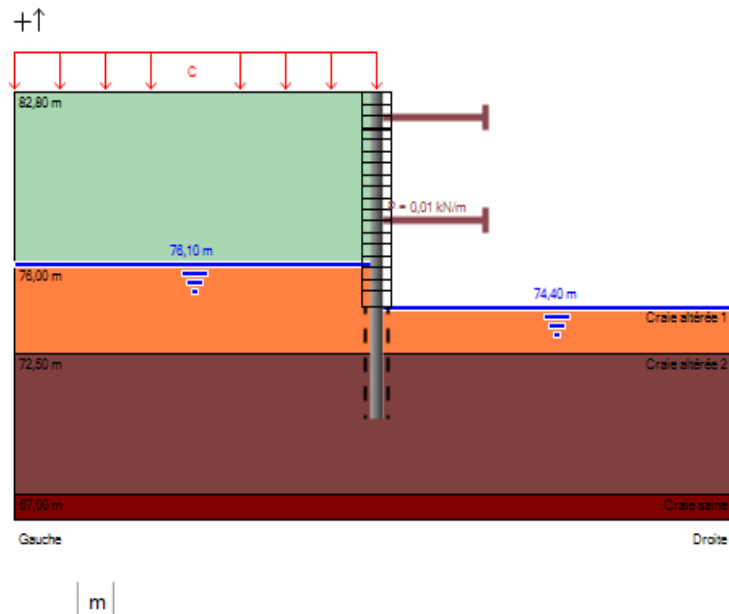
LE GAIN EN FIABILITÉ

Principe de calcul :

- **Approche MEF 2D sur une coupe type** afin de caler les modules de loi HSM ($E_{50\text{réf}} = k \cdot E_M/a$ avec $k = 2,0$ à $3,0$).
- Elaboration d'un **modèle PLAXIS 3D** afin de tenir compte de la non linéarité de la hauteur à soutenir (marches de l'escalier butonnantes).



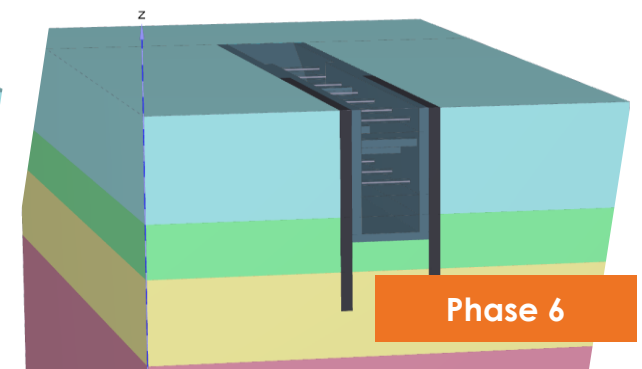
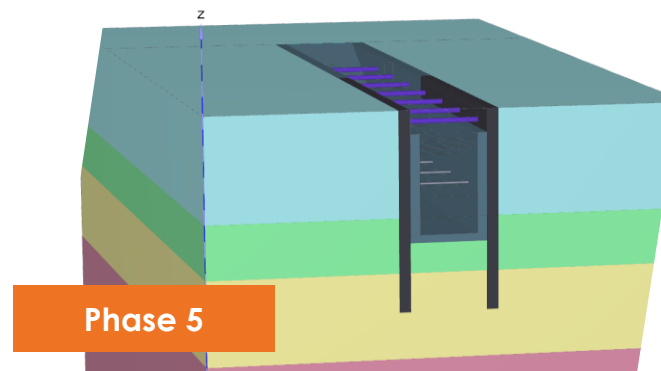
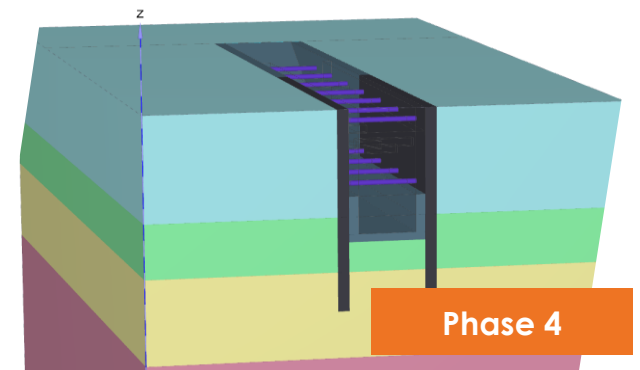
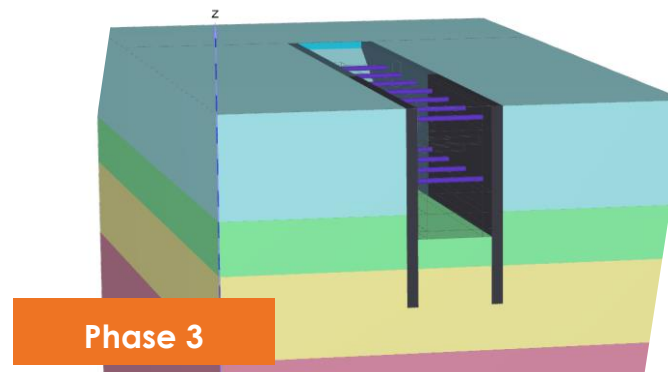
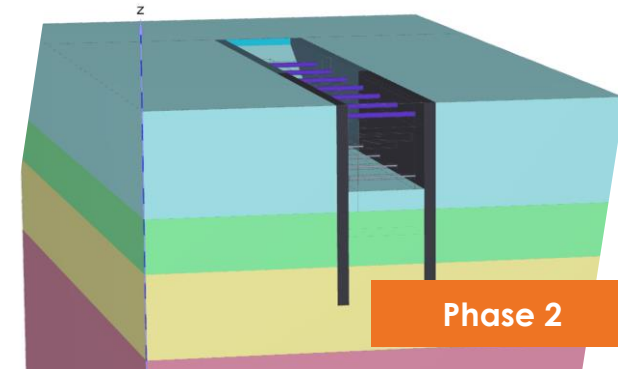
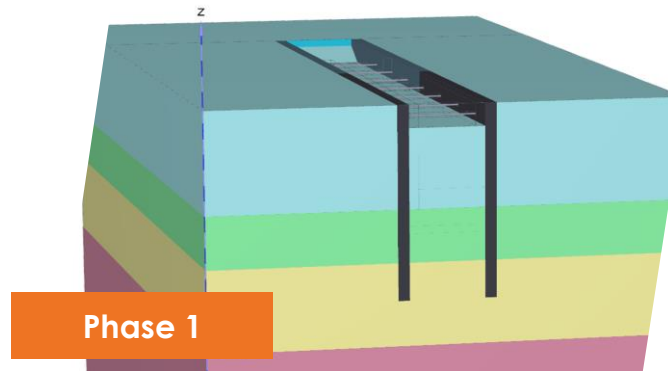
Calage KREA / PLAXIS 2D HSM sur la coupe 3 micro berlinoise



LE GAIN EN FIABILITÉ

Modèle PLAXIS 3D :

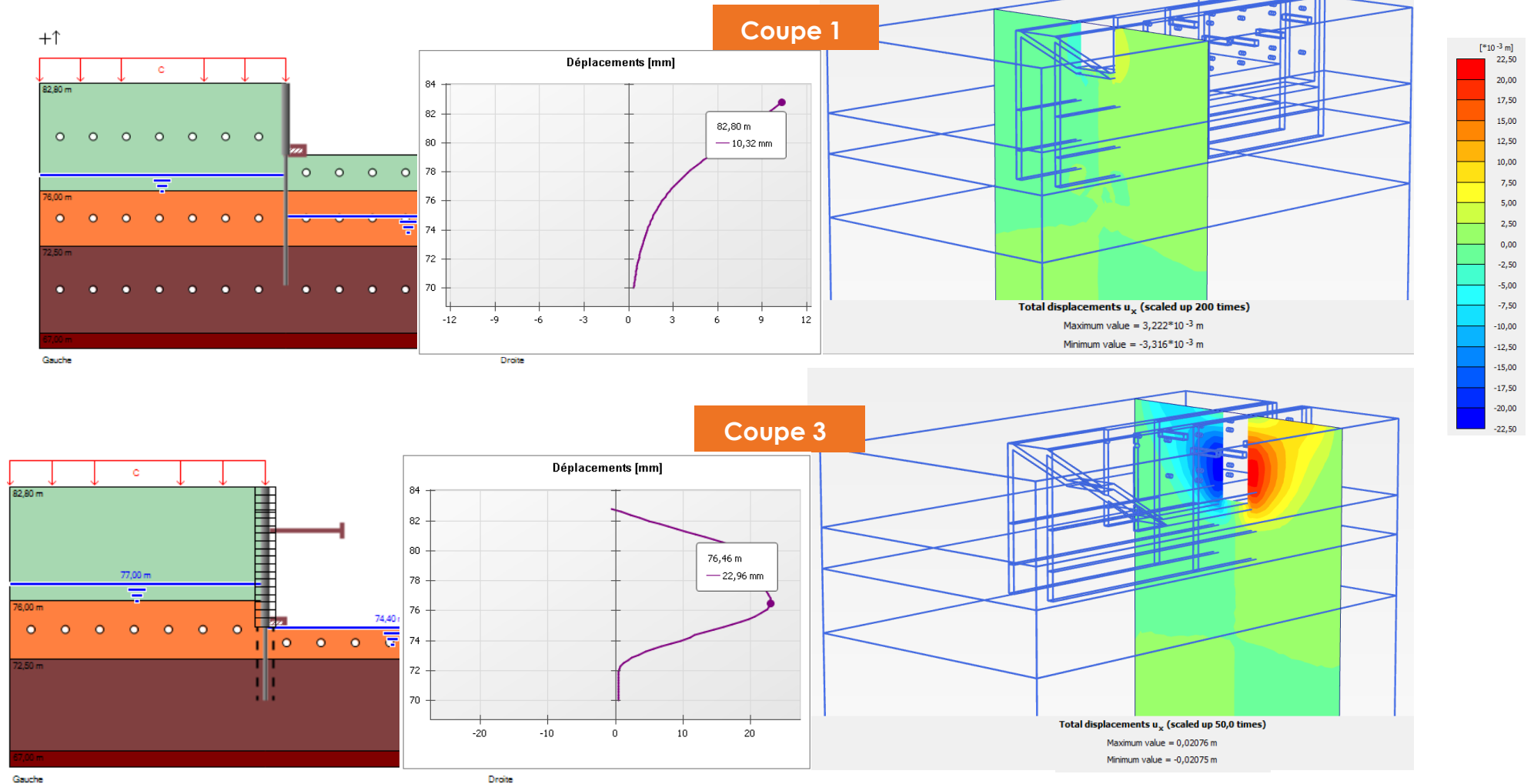
- Loi de comportement : HSM
paramètres calés selon le calcul 2D
- Écrans et butons modélisés comme
des éléments volumiques de module
équivalent,
- Transition provisoire → définitif :
 - Butons provisoires horizontaux,
 - Réalisation du voile de
50 cm définitif et des poutres
BA butonnantes puis retrait
des butons provisoires,



LE GAIN EN FIABILITÉ

Résultats et analyses :

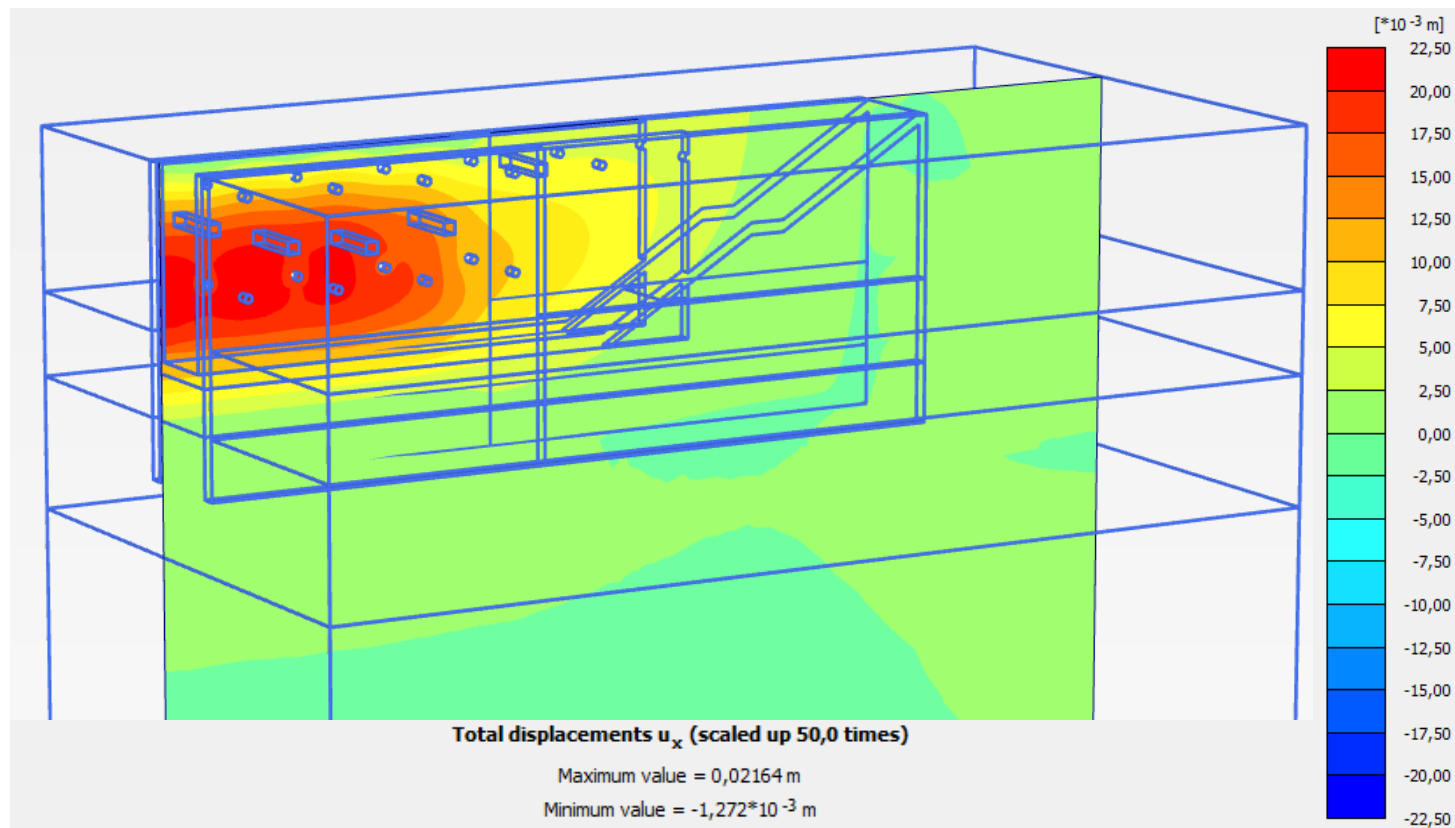
- Les déplacements du modèle 3D sont plus faibles que les calculs 2D de par la prise en compte de la 3^{ème} dimension.



LE GAIN EN FIABILITÉ

Résultats et analyses :

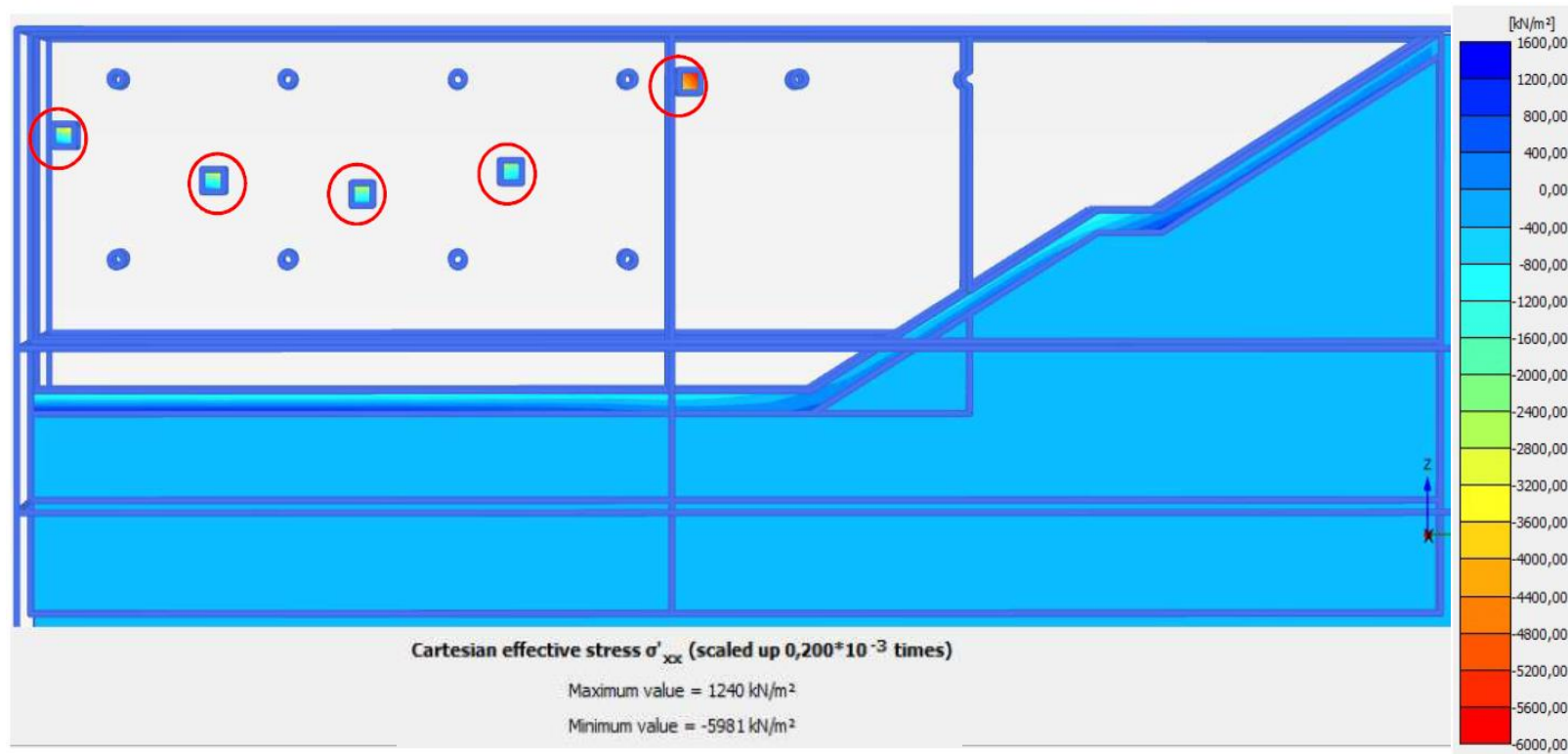
- La prise en compte de la 3^{ème} dimension nous a permis d'approcher l'évolution des déplacements le long de l'escalier et sous l'ouvrage.



LE GAIN EN FIABILITÉ

Résultats et analyses :

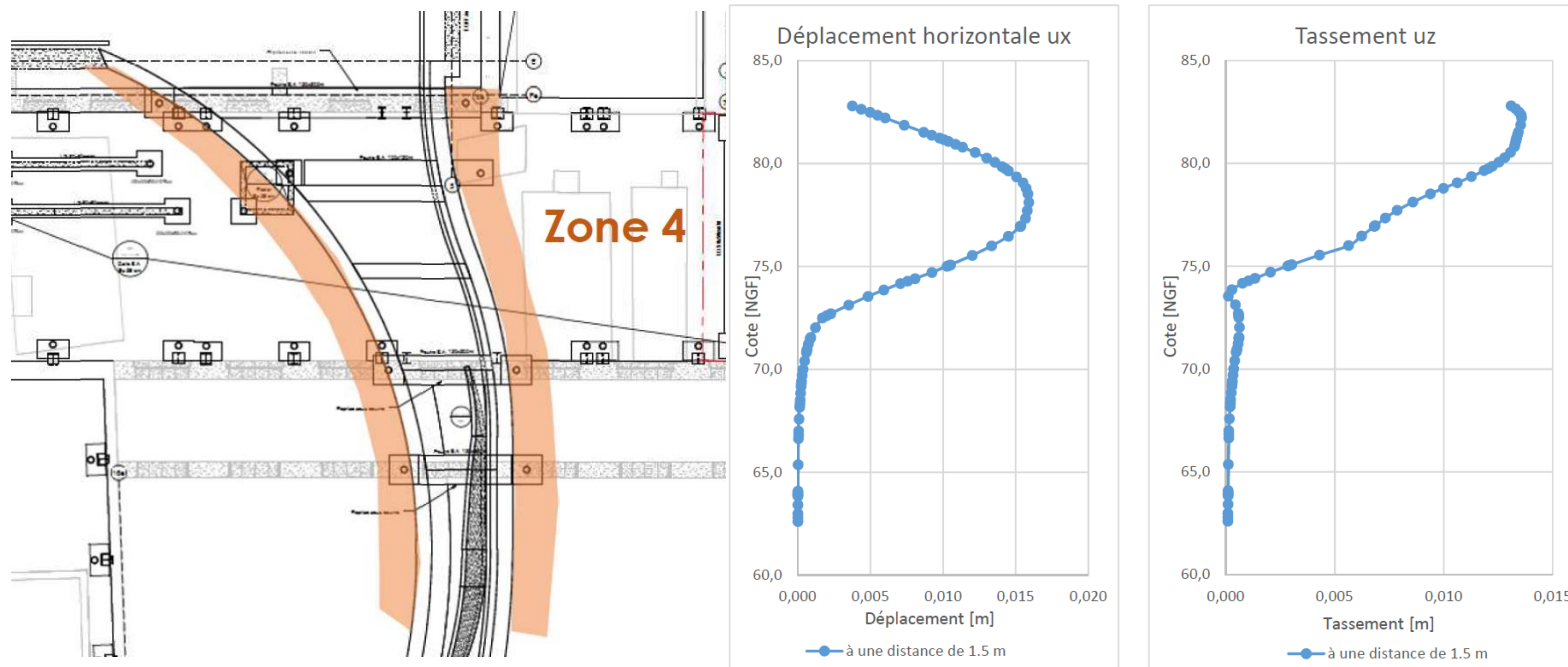
- Les poutres butonnantes ayant un espacement différent, le modèle de calcul nous a également permis d'identifier un défaut de résistance structurelle d'une d'entre-elle et d'augmenter sa section en conséquence.



LE GAIN EN FIABILITÉ

Résultats et analyses :

- L'exploitation des déformations en amont du voile pour étudier l'impact de ces terrassements sur les micropieux les plus proches en RSO du bâtiment existant et de définir un éloignement minimal à respecter (prise en compte d'un $g(z)$ et tubage des micropieux pour neutraliser les frottements négatifs).



LA DIMENSION RESPONSABLE

Ce projet de rénovation et d'extension d'un bâtiment du XVIIème siècle (ancienne abbaye Saint Denis) s'inscrit dans une volonté de restauration du bâti existant au détriment d'une nouvelle construction en dehors du centre ville comme cela était initialement imaginé en faisabilité.

Il a également été conçu pour accorder une forte importance à la végétalisation dans l'aménagement.

Notre mission de conception a été conduite en ce sens avec pour fil rouge la volonté de réduire l'impact du projet sur les ouvrages existants dans un milieu très urbanisé et situé à deux pas de la cathédrale de Reims inscrite sur la liste du patrimoine mondial par l'UNESCO.

En particulier pour les solutions de soutènement/terrassement et de fondations dont nos préconisations ont été orientées afin de limiter l'impact environnemental **en termes de vibrations et bruit** et de **réduire le volume des déblais**.



CONCLUSION

CONCLUSION

L'étude de ce projet nous a permis de déployer une grande partie de notre savoir faire tant sur le volet investigations géotechnique, géophysique et hydrogéologique que sur le volet ingénierie géotechnique. La complexité du projet et les différentes contraintes des existants nous ont poussés à revoir nos schémas d'étude classique.

L'utilisation d'un modèle de calcul 3D nous a permis d'étudier un ouvrage particulier ne pouvant pas être réduit d'une dimension sans risque de surdimensionnement des structures tant provisoires que définitives. Elle nous a permis d'approcher de façon plus juste le comportement d'un écran de profondeur croissante et d'ajuster les moyens butonnants en phase définitive en fonction du comportement de l'écran.

Cette méthode de calcul reste basée sur des calages de paramètres de loi de comportement issues des approches de calcul 2D éprouvées aux coefficients de réaction. Elle nous a permis d'optimiser les dimensionnements et réduire leur coût ainsi que leur impact environnemental.

Le projet est actuellement au stade de démarrage des travaux (période de préparation). Une mission G4 de supervision géotechnique d'exécution a été confiée à Géotec afin de valider la maquette géotechnique établie ainsi que le comportement des ouvrages projetés.



www.geotec.fr

9 bld de l'Europe
21800 QUETIGNY
Tél. : 03 80 48 93 20



Groupe
Géotec



Groupe
Géotec