

Logiciel C-NewTun

Automatisation pour la généralisation des calculs EF 3D des ouvrages souterrains

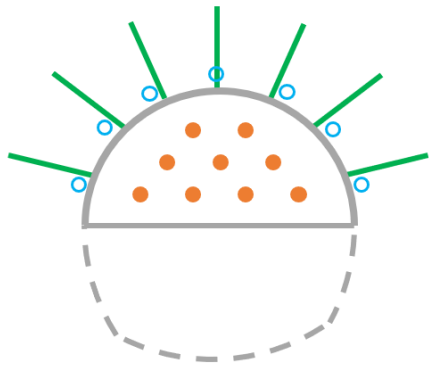


David REMAUD – Itech-Soft SAS

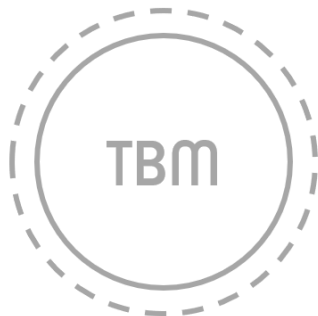
Le logiciel C-NewTun

(Option du logiciel CESAR-LCPC 3D)

Creusement en méthode traditionnelle



Creusement au tunnelier



The screenshot displays the C-NewTun software interface with several key components:

- 1. Pages d'édition du modèle:** A panel on the left titled 'Modélisation des chargements' showing a diagram of a tunnel face with parameters D_{PI} and L_S . Below it, a table lists effective pressures for the front, cutterhead, and mortar.

Pression de front effective	
Pf_sup [MN/m ²]	0.150
Pf_inf [MN/m ²]	0.250

Pression du bouclier effective	
Ps_sup [MN/m ²]	0.010
Ps_inf [MN/m ²]	0.150

Pression du mortier effective	
Pm_sup [MN/m ²]	0.005
Pm_inf [MN/m ²]	0.200

- 2. Géométrie et maillage automatiques:** A 3D perspective view of the tunnel excavation model with a green mesh overlaying the geometry.
- 3. Phases de calcul:** A 'Modeles' panel on the right listing various calculation models such as 'Main Bound Cond', 'Cas de charges', and 'Excav Forces'.
- 4. Résultats spécifiques:** A 3D surface plot showing 'Surface vertical displacement, s (m)' as a function of 'Distance to the tunnel face, X (m)' and 'Distance to the tunnel axis, Y (m)'. The plot shows a curved surface with a color scale from 0 to -6 meters.

Contexte

1. Une méthode éprouvée en modélisation des ouvrages souterrains
Du Tunnel sous la Manche au Métro de Toulouse
2. Une sous-utilisation des calculs 3D
 - Manque de temps
 - Facilité du 2D
 - Dispersion des compétences et des méthodes
3. Une expérience d'édition de logiciels métiers
Exercice de prévision TULIP (2021)
itech-soft, société éditrice de logiciels de calcul de structures depuis 1986.
Distribution et co-développement du logiciel CESAR-LCPC depuis 1996.

Contexte

> Maîtrise des tassements creusés par les excavations en méthode conventionnelle

FUI Newton (2011-2017)



Thème 2 - Conception interactive

« Développement d'un outil de prédimensionnement du renforcement sur la base de **simulations tridimensionnelles** »

- Nicolas Gilleron, 2016. *Méthode de prévision des tassements provoqués par le creusement des tunnels urbains et influence des présoutènements*. Thèse de doctorat, Université Gustave Eiffel
- Klotoé, 2017. *Modélisation de l'influence des techniques de présoutènement sur les tassements provoqués lors du creusement des tunnels peu profonds*. Thèse de doctorat, Université Gustave Eiffel

Contexte

> Impact du creusement au tunnelier sur des fondations profondes

ANR TULIP (2018-2022)

« Développer un procédé de **modélisation avancée** capable de reproduire fidèlement la phénoménologie observée (effets 3D, interfaces, etc.) »

- W. Mohamad, 2022, Effet de la construction des tunnels sur les fondations profondes : Cas du Grand Paris Express, Thèse de doctorat, Université Gustave Eiffel

ANR e-PILOT (2022-2026)

« Etude de l'impact sur les Pleux LOrs du passage d'un Tunnelier »

- WP4 : « L'objectif de ce travail est d'étudier les points clés des problèmes de **modélisation de l'interaction** entre le creusement de tunnels et les structures existantes. » [...] « Ce travail se concentrera sur des procédures de **modélisation tridimensionnelle**, plus complexes, mais plus représentatives des phénomènes constitutifs du creusement d'un tunnel. »

C-NewTun : un assistant automatisé et optimisé

Hypothèses fondatrices

- Méthode traditionnelle
 - Voûte parapluie horizontale (Klotoé, 2017)
 - Renouvellement des pré-soutènements (Klotoé, 2017)
- TBM
 - Simulation du creusement en chargements explicites (El Jirari, 2021)
 - Simulation du creusement par déformation imposée (Mohammad, 2022)
- Loi de comportement ANL (Gilleron, 2016)
- Arrêt des calculs si régime permanent atteint (Gilleron, 2016)

Chaque nouvelle excavation induit le même incrément de tassement longitudinal $\Delta s(\mathbf{x})$ que l'excavation précédente mais déplacé de Δl
- Reconstitution de la cuvette de tassement 3D

C-NewTun : un assistant automatisé et optimisé

Choix de la méthode

Traditionnelle (NewTun)
ou tunnelier (TBM)



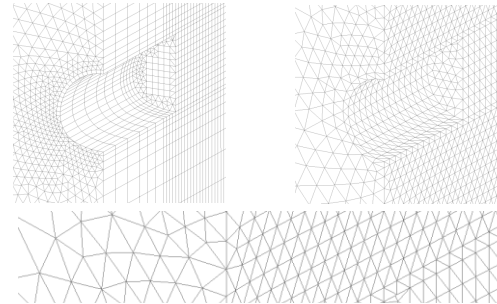
Géométrie

Sections prédéfinies
Symétrie ou non



Maillage

Maillage 3D automatisé
Régulier/Tétraédrique



Propriétés des sols

Mohr-Coulomb / HSM / ANL

Phasage

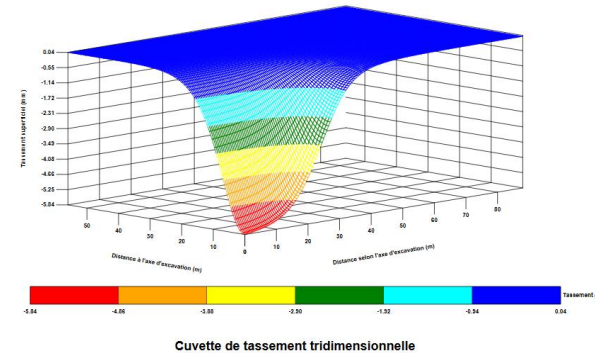
Séquence d'excavation
Chargements

Calculs

Arrêt si régime permanent
détecté

Résultats

Résultats essentiels
Front / Volume-loss / Cuvette 3D



Large choix de configurations

Large choix de configurations

Gain de temps
Qualité du résultat

Pertinence
Sécurité

Sécurité

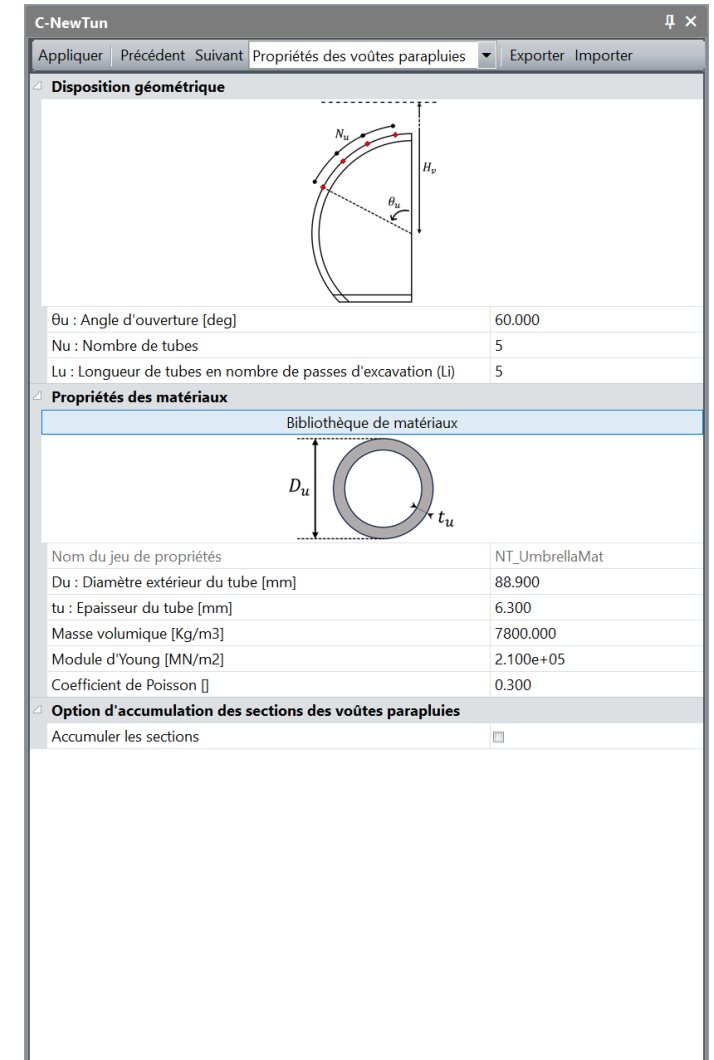
Optimisation
Gain de temps

Analyse métier
et pertinente

Application : creusement en méthode traditionnelle

Les pages de définitions :

1. Type de section et stratigraphie
2. Géométrie de la section
3. Propriétés des couches de sols
4. Paramètres d'excavation
5. Propriétés du soutènement
6. Boulonnage de front
7. Voûte parapluie

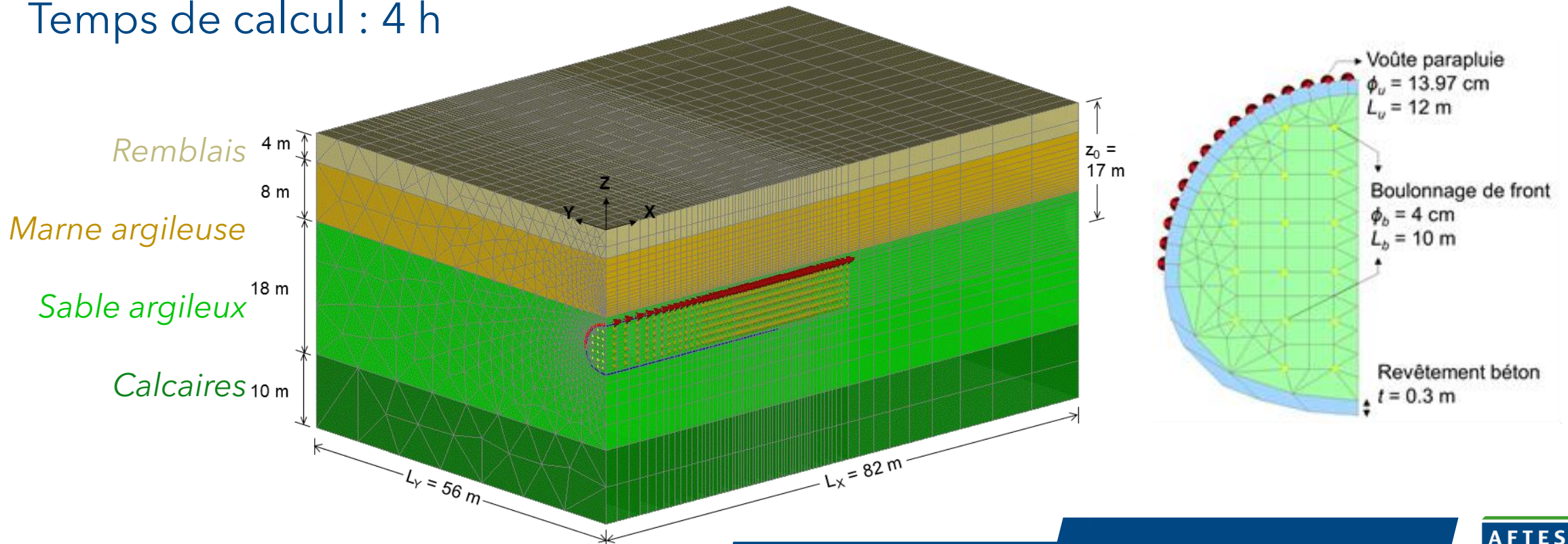


Exemple 1 : creusement en méthode traditionnelle

Le projet: comparaison de 2 conceptions de renforcements
(article Remaud et al., WTC 2017)

Temps de génération : 400 000 nœuds

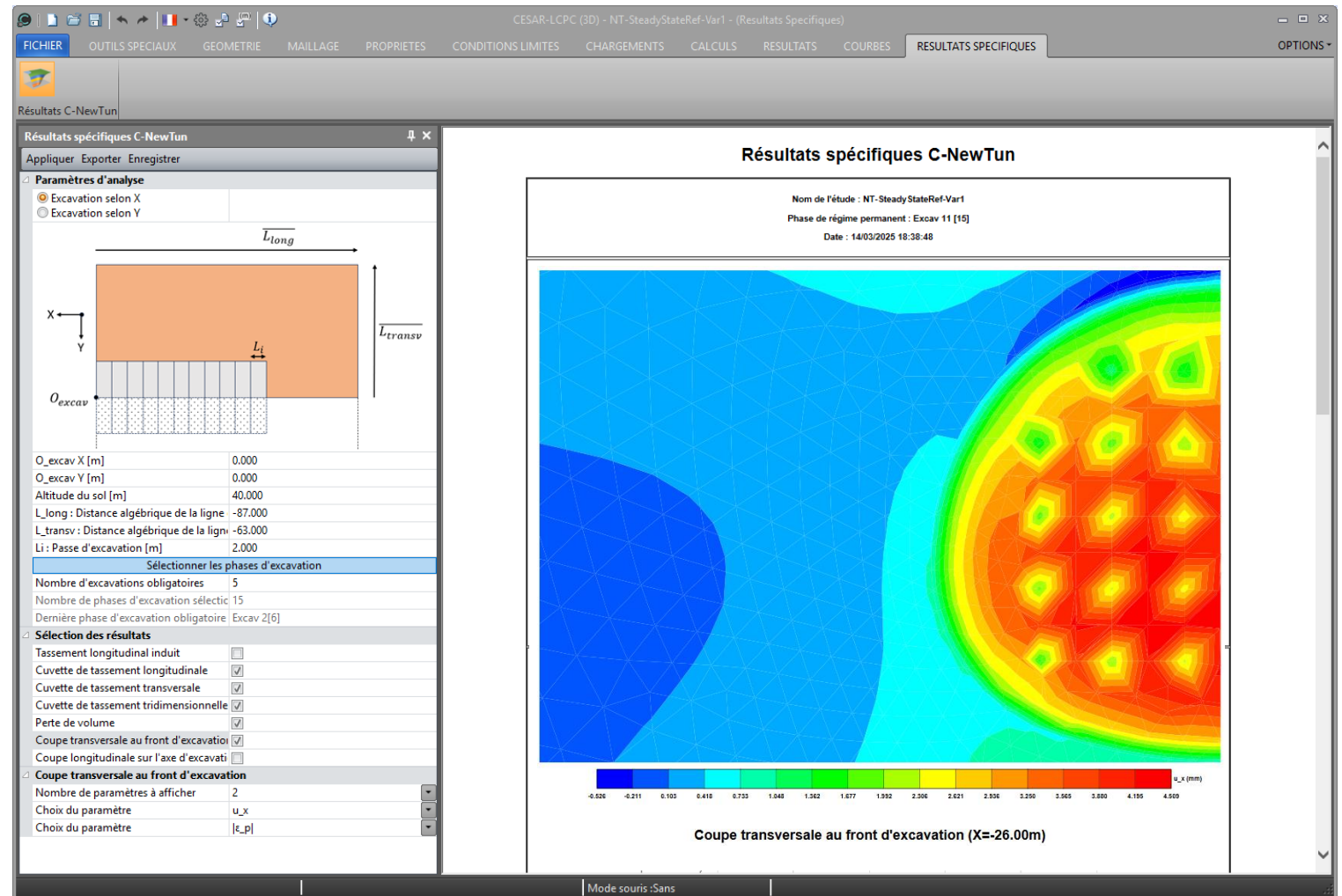
Temps de calcul : 4 h



Exemple 1 : creusement en méthode traditionnelle

Les principaux résultats

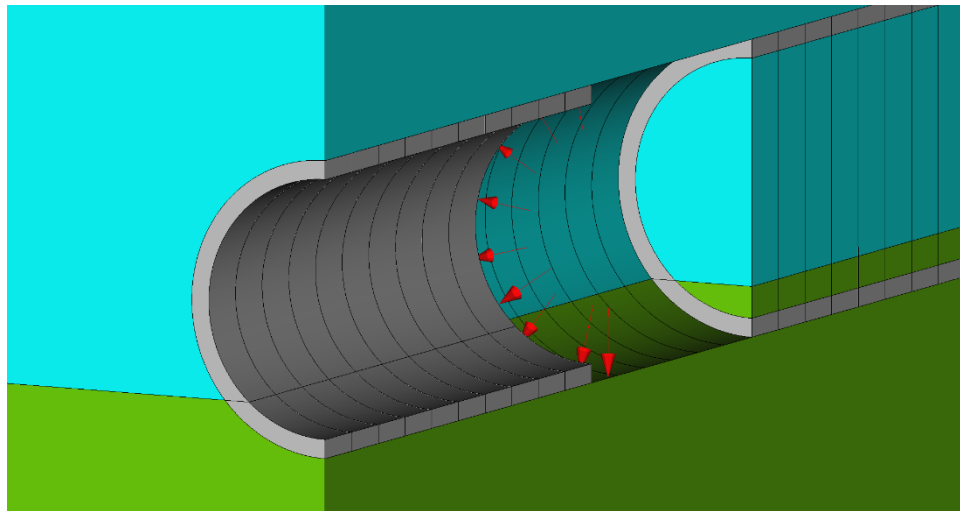
- Cuvette longitudinale
- Cuvette transversale
- Cuvette 3D
- Front de taille
- Volume-loss



Application : TBM

Méthode de simulation de l'excavation : décomposition explicite

- Forces d'excavation
- Pression de front
- Pression de jupe
- Pression d'injection bentonite



C-NewTun - TBM

Appliquer Précédent Suivant Définition des chargements Exporter Importer

Modélisation des chargements

Pression de front effective	
Pf_sup [MN/m ²]	0.150
Pf_inf [MN/m ²]	0.250
Pression du bouclier effective	
Ps_sup [MN/m ²]	0.010
Ps_inf [MN/m ²]	0.150
Pression du mortier effective	
Pm_sup [MN/m ²]	0.005
Pm_inf [MN/m ²]	0.200
Poids du bouclier	
Poids du bouclier (pression effective)	<input type="checkbox"/>

Exemple 2a : creusement au tunnelier

Le projet : Lyon MB - PM667
(d'après El Jirari, 2021)

Temps de génération : 5-10' (135 000 nœuds)

Temps de calcul : 5 h

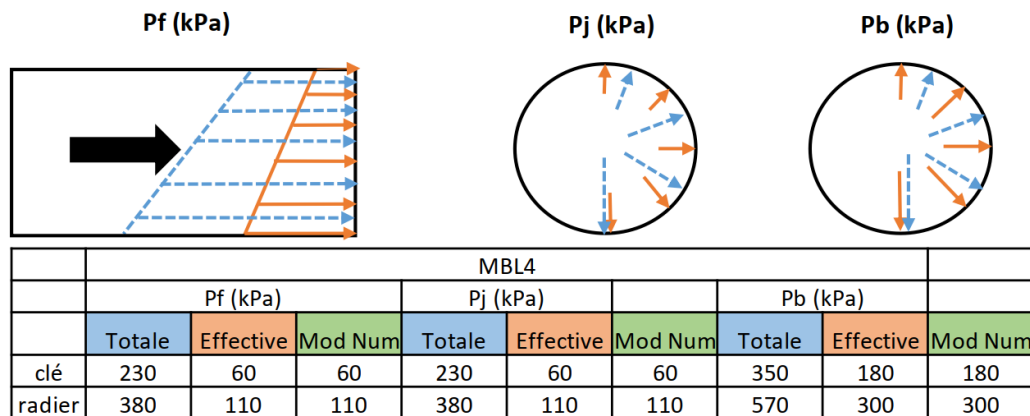
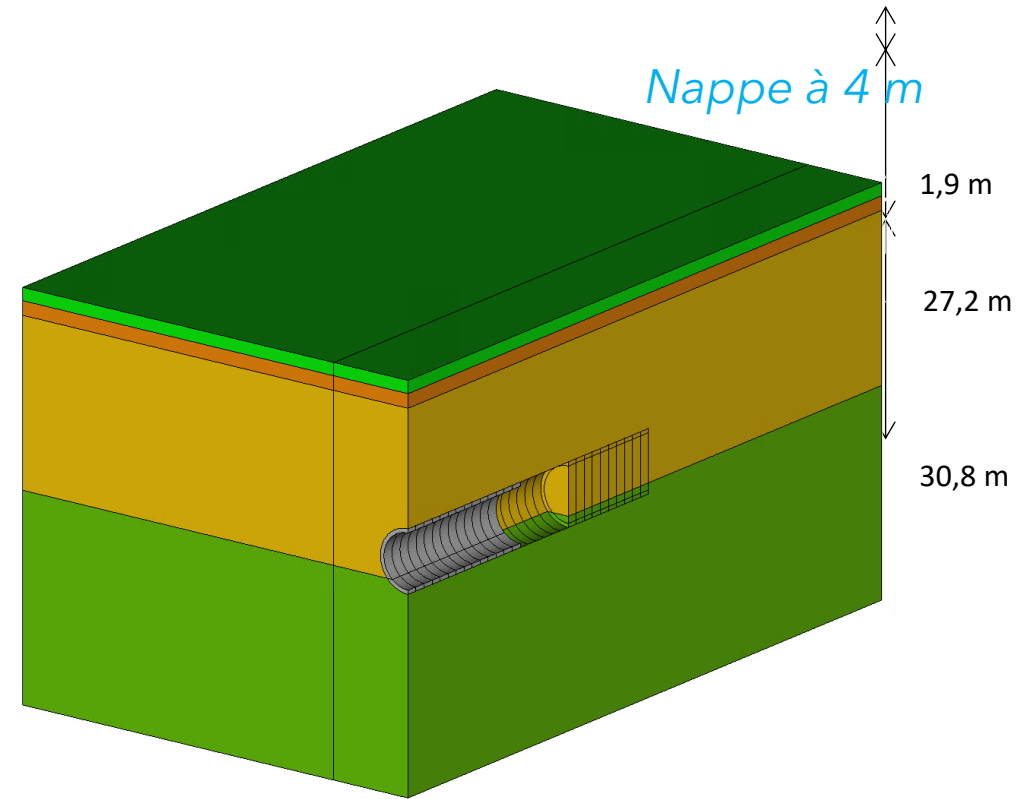


Figure 5-21: Pressions effectives appliquées dans les modèles numériques et pressions totales appliquées par le tunnelier pour la MBL4

Exemple 2a : creusement au tunnelier

Les principaux résultats

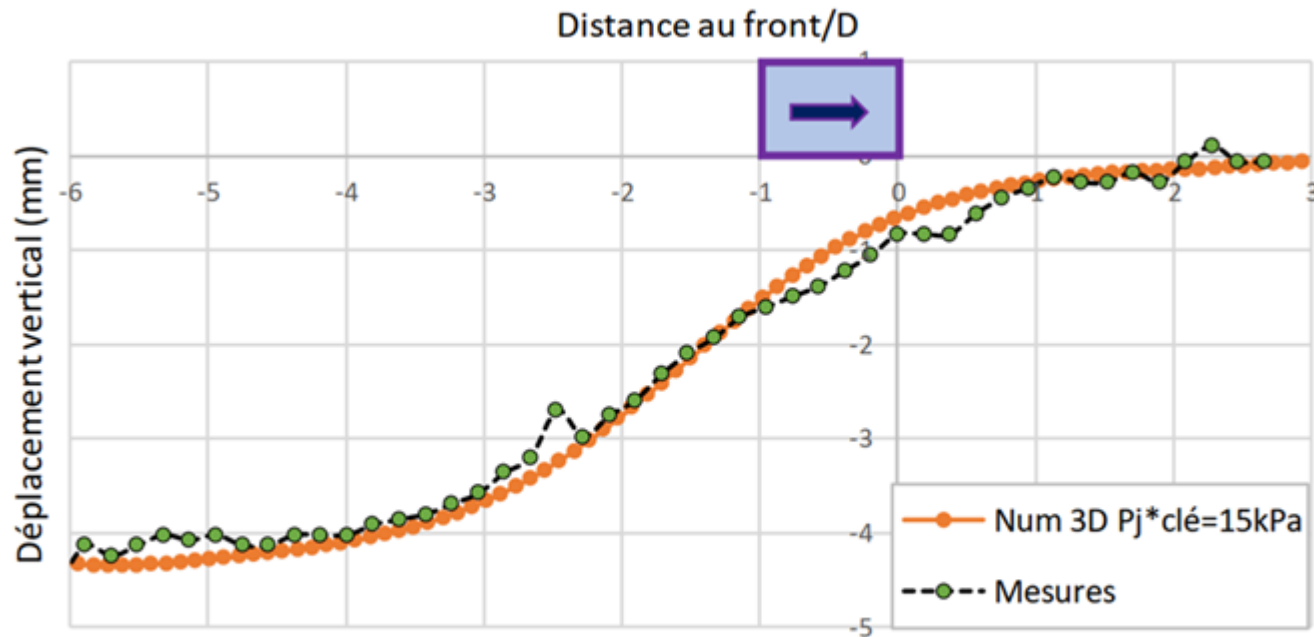
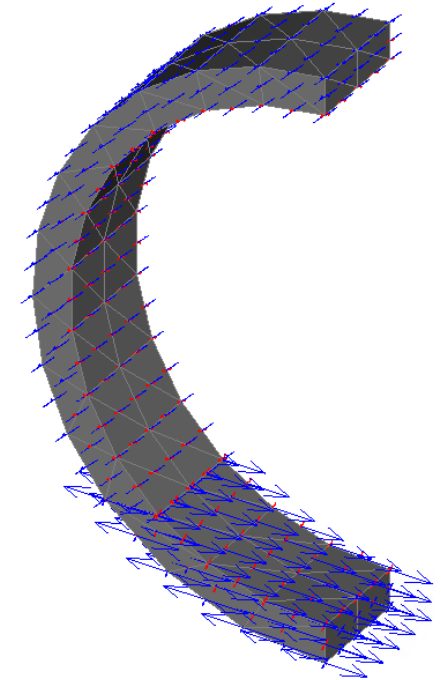


Figure 5-23: Cuvette longitudinale de tassement en surface.

Results info		
Show	Add	Add to
Results info		
Type	Node	
Label	121877	
Results		
X [m]	-21.600	
Y [m]	-4.066	
Z [m]	-26.527	
σ_1 [MN/m ²]	0.531	
σ_2 [MN/m ²]	-0.015	
σ_3 [MN/m ²]	-1.434	
σ_{xx} [MN/m ²]	0.394	
σ_{yy} [MN/m ²]	0.068	
σ_{zz} [MN/m ²]	-1.379	
σ_{xy} [MN/m ²]	-0.219	
σ_{yz} [MN/m ²]	0.200	
σ_{zx} [MN/m ²]	-0.148	



Tenseurs des contraintes principales dans un anneau

TBM : creusement au tunnelier

Méthode de simulation de l'excavation : déformations imposées
(d'après Mohammad, 2022)

- Déformation volumique isotrope ϵ_v
- Déformation imposée quelconque

$$\epsilon_{xx'}, \epsilon_{yy'}, \epsilon_{xy'}, \epsilon_{zz}$$

The image shows two screenshots of the C-NewTun - TBM software interface. The top screenshot displays the 'Paramètres d'excavation' (Excavation Parameters) window. It features a diagram of a tunnel excavation process with a coordinate system (X, Z) and labels for 'Front', L_t , and L_i . Below the diagram, a table lists the parameters: L_i (Passes d'excavation [m]) is 2.000, and L_t (Longueur totale en nombre de passes d'excavation (Li)) is 5. The bottom screenshot shows the 'Définition de la déformation' (Deformation Definition) window. It has two sections: 'Déformation imposée' (Imposed Deformation) and 'Nommage des propriétés de matériaux' (Material Property Naming). In the 'Déformation imposée' section, 'Déformation imposée quelconque' (Arbitrary imposed deformation) is selected, and the value for ϵ_v [micro-def] is set to 0.000. The 'Nommage des propriétés de matériaux' section lists two material types: 'Matériau rigide avec déformation imposée' (Rigid material with imposed deformation) named 'TBM_ImposedStrainMat' and 'Matériau rigide' (Rigid material) named 'TBM_DummyTunnelMat'.

Paramètre	Valeur
L_i : Passe d'excavation [m]	2.000
L_t : Longueur totale en nombre de passes d'excavation (Li)	5

Matériau	Nom
Matériau rigide avec déformation imposée	TBM_ImposedStrainMat
Matériau rigide	TBM_DummyTunnelMat

Exemple 2b : creusement au tunnelier

Le projet : site expérimental sur la ligne 16 du Grand Paris Express à Aulnay-sous-Bois (d'après Mohammad, 2022)

Temps de génération : 5-10' (256 000 nœuds)

Temps de calcul : 20 h (sans régime permanent)

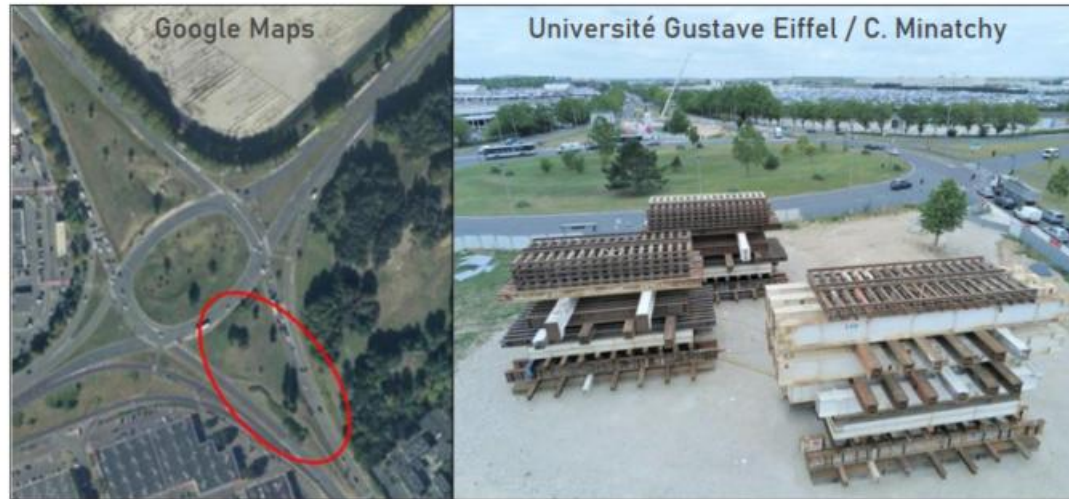


Figure 2.2 Vue aérienne du site expérimental

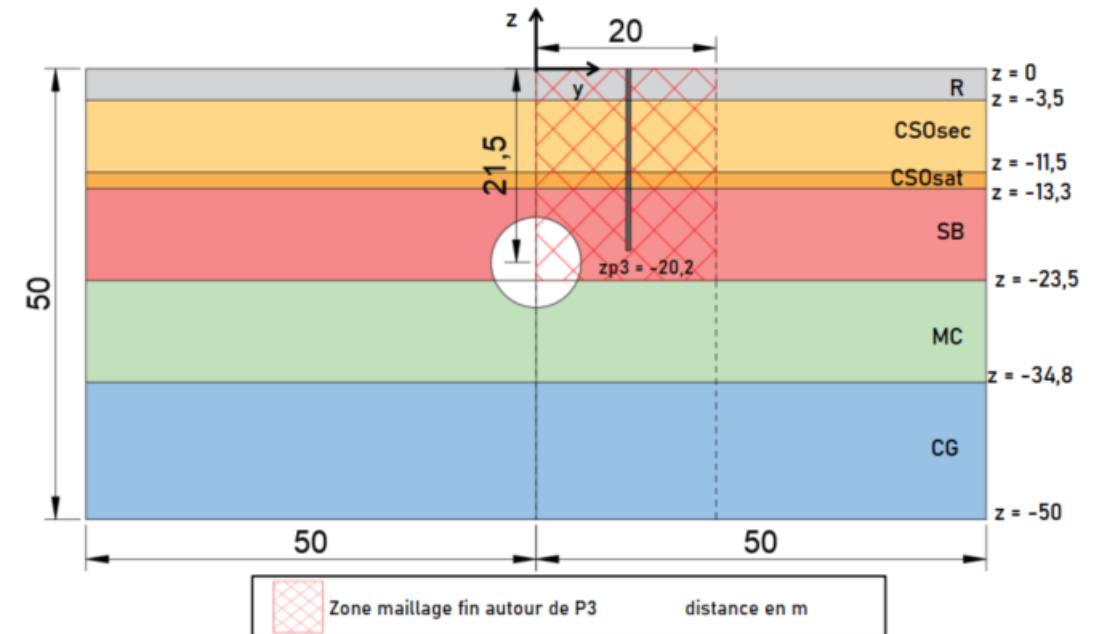


Figure 5.1 Coupe transversale du modèle élaboré pour P3

Exemple 2b : creusement au tunnelier

Les principaux résultats

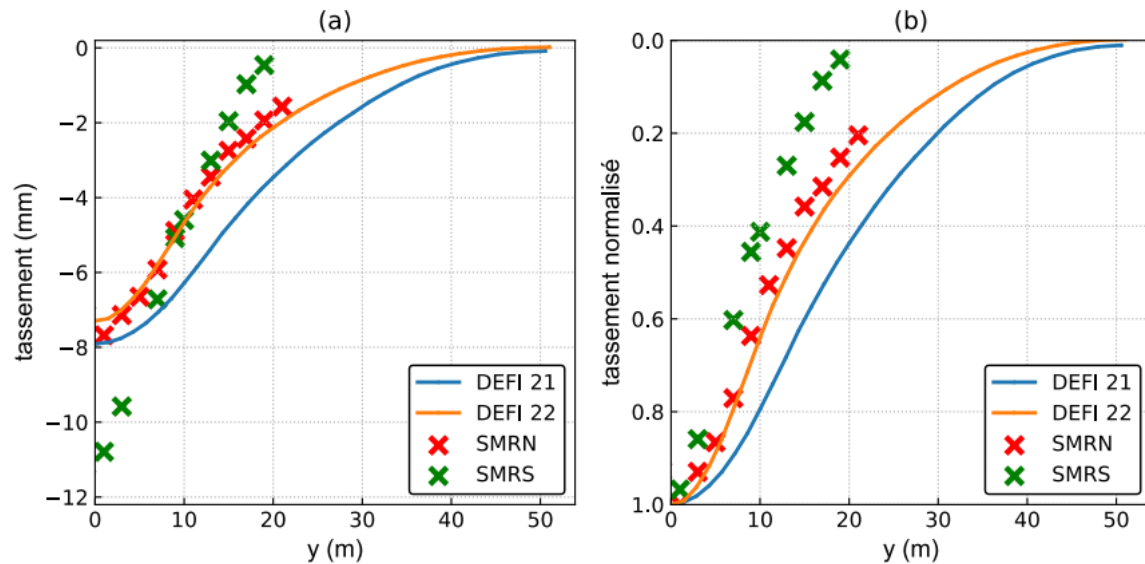
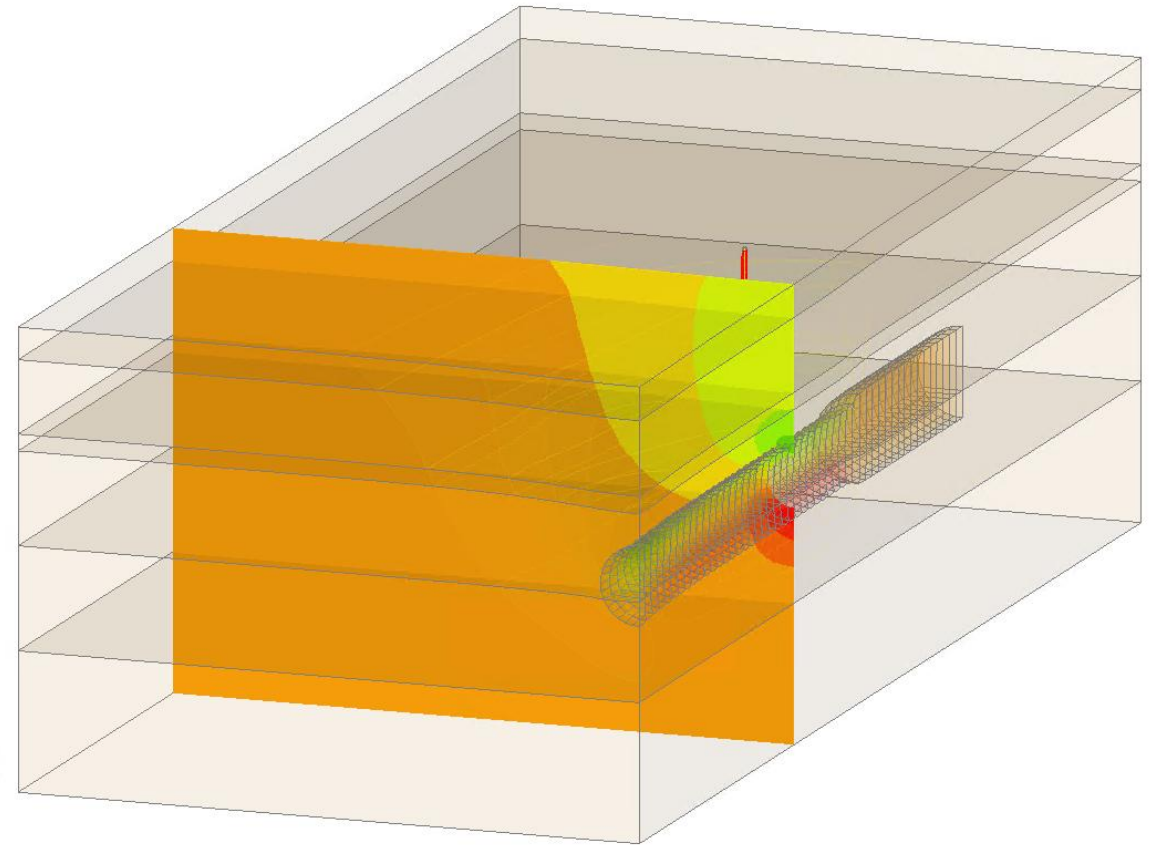


Figure 5.14 Comparaison des cuvettes transversales avec les résultats expérimentaux



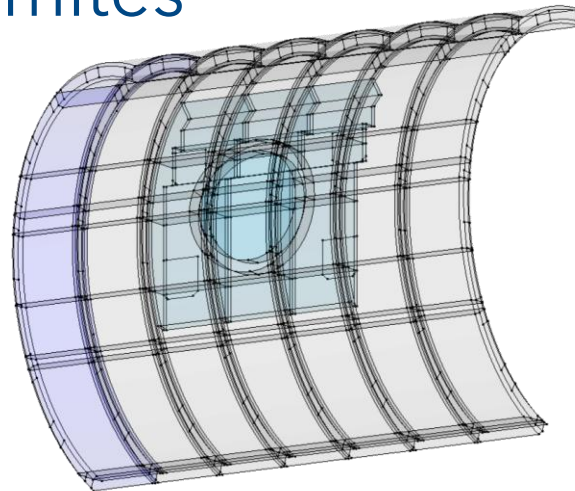
Coupe des déplacements verticaux sur le modèle 3D

Les options

Introduire une fondation sur pieux

Editer librement l'étude CESAR 3D :

- Créer un rameau, un puit
- Modifier les paramètres de matériau
- Modifier les conditions limites



C-NewTun - TBM

Appliquer Précédent Suivant Définition des pieux Exporter Importer

Groupes de pieux sélectionnés Groupe 1

Nouveau groupe de pieux

Configuration des pieux

The diagram shows a cross-section of a tunnel with a grid of piles. Parameters are labeled: D_{pgx} (distance along the tunnel axis), D_{pgy} (algebraic distance from the tunnel axis to the pile center), N_{pgr} (number of pile lines), N_{pgc} (number of pile columns), Δ_{pgr} (spacing between piles on a line), Δ_{pgc} (spacing between piles on a column), θ_{pg} (rotation angle of the pile grid), L_p (total pile length), and L_{pf} (pile head length).

Dpgx : Distance selon l'axe du tunnel [m]	10.000
Dpgy : Distance algébrique entre l'axe du tunnel et le centre de la g	-16.000
Npgr : Nombre de lignes de pieux	3
Npgc : Nombre de colonnes de pieux	2
Δ pgr : Espacement entre les pieux sur une ligne de pieux [m]	4.000
Δ pgc : Espacement entre les pieux sur une colonne de pieux [m]	5.000
θ pg : Angle de rotation de la grille de pieux dans le plan horizontal	30.000
Lp : Longueur total des pieux [m]	20.000
Lpf : Longueur des têtes de pieux [m]	1.000

Géométrie 1D
 Géométrie 3D
 Géométrie 3D avec poutre fictive immergée

Couleur du groupe de pieux 0099CC

Type de section

Diamètre des pieux [m] 0.500

Chargement des pieux

Pression uniforme sur support
 Chargement pieu par pieu

Msr : Marge du support selon les lignes de la grille [m]	2.000
Msc : Marge du support selon les colonnes de la grille [m]	3.000
Pression selon l'axe X [MN/m2]	0.000
Pression selon l'axe Y [MN/m2]	0.000
Pression selon l'axe Z [MN/m2]	-0.050

Propriétés du support de charge

Choix dans la bibliothèque des matériaux Edition

Propriétés des pieux

Choix dans la bibliothèque des matériaux Edition

Option d'affichage

Afficher uniquement les interactions probables

Frottement pieu / couches

Pieu / couche 1 Edition

Conclusion

C-NewTun offre un environnement de travail robuste, validé et performant pour l'ingénieur

C-NewTun permet des études paramétriques sur:

- le cycle d'excavation
- les renforcements du terrain
- la loi de comportement du sol
- la forme de la section

C-NewTun est un outil permettant d'optimiser les temps d'études 3D.

Remerciements

Partenaires du FUI Newton

Partenaires du projet e-PILOT

Agence Nationale de la Recherche (ANR)

Ministère de la Transition écologique