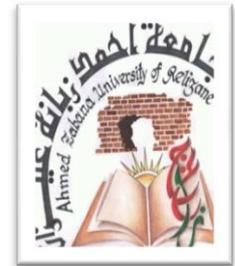


## Revue des Matériaux & Energies Renouvelable

Journal home: <https://www.univ-relizane.dz>

ISSN : 2507-7554

E- ISSN : 2661-7595



FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE, UNIVERSITE DE RELIZANE.

### Modélisation tridimensionnelle de scénarios d'instabilité du sol retenu par un rideau de palplanches corrodé

Open  
Access

BALEGH Benamar<sup>1\*</sup>, SELLAH Hamid<sup>2</sup>, HADJ MOSTEFA Adda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Civil Engineering and Environmental Laboratory, Department of technology science, University of Adrar, 01000, Algeria

<sup>2</sup> Civil Engineering and Environmental Laboratory, Department of civil engineering and hydraulic, University of Saida, 20000, Algeria

<sup>3</sup> Industrial Engineering and Sustainable Development Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Relizane, 48000, Algeria

#### RESUME

Cet article vise à étudier les différents types de rideau de palplanches et leurs utilisation dans le domaine de génie civil ainsi que leur durabilité durant leur durée de service également l'effet du phénomène de corrosion sur les ouvrages en palplanches. Une modélisation tridimensionnelle du modèle et une analyse du comportement d'une structure de rideau de palplanches corrodée soutenant le sol à l'aide d'un logiciel d'éléments finis pour une simulation en 3D a été élaborée. Les scénarios de comportement, mouvement et déformations du sol et rideau de palplanches sous l'effet de corrosion sont analysés et comparés en tenant compte du déplacement horizontal et vertical et des contraintes des sols et palplanches. Enfin, quelques suggestions et recommandations pour l'étude et le suivi de surveillance des ouvrages en palplanches ont été obtenues.

#### Article history:

Received 28 December 2020.

Received in revised form 22 June 2021.

Accepted 05 July 2021.

**Keys word:** Sol; Rideau de palplanches;  
Corrosion; Durabilité; Déformation

Copyright © 2021 ..... - All rights reserved

## 1. Introduction

Les palplanches sont utilisées pour fournir un support de terre latéral, elles peuvent être soit en porte-à-faux, soit ancrées en fonction de la hauteur du mur. Les structures de palplanches sont classées comme des murs en acier flexibles, il a été constaté qu'elles avaient une rigidité du système relativement plus faible que d'autres murs in situ tels que les murs en béton [1]. Les recherches ont été étudiées comment prédire la durée de vie des structures en acier corrodées dans l'eau de mer afin de prendre des précautions contre leur instabilité, ainsi que pour éviter les défaillances incertaines et imprévisibles d'une structure [2]. Les murs de palplanches subissent des déformations relativement plus importantes. De nombreux efforts ont été faits dans la recherche de l'analyse de stabilité des structures de palplanches et de nombreuses théories systématiques et méthodes numériques sont apparues [3]. La flexibilité des murs a un effet sur les sols meubles plutôt que sur l'interaction sol-structure [4]. Cependant, certaines méthodes sont basées sur des pressions de sol actives et passives et concernent le critère de rupture de Mohr-Coulomb. Les méthodes des éléments finis permettent l'exploration des contraintes et des déplacements en fonction d'une gamme de charges anticipées pour l'ensemble du champ de contraintes et de déformations pour une interaction sol – structure. L'étude paramétrique numérique réalisée et les analyses comparatives des murs de palplanches ancrés construits par différentes méthodes ont été élaborées [5]. L'ampleur du mouvement du sol est liée à de nombreux facteurs tels que les propriétés du sol et structurelles. Un certain nombre de cas ont été rapportés dans la littérature, ce qui illustre la relation entre ces facteurs et la déformation du mur, Tung et al ont étudié le mur de soutènement pour stabiliser l'excavation à l'aide de la méthode d'ancrage [6-7]. avec les résultats

du suivi et l'analyse contrainte-déformation, de plus, des analyses paramétriques ont été étudiées sur le déplacement horizontal de la paroi [8]. La durée de vie de la structure de palplanches est généralement satisfaite en surdimensionnant l'épaisseur de l'acier dans le profilé en feuille. La connaissance du taux de corrosion est également importante lors de la vérification de la sécurité et de la capacité portante des [9]. Les valeurs des taux de corrosion dans ce rapport sont également données en référence à l'Eurocode 3 [10] et sont utilisées aujourd'hui par les ingénieurs en exercice lors de la conception de nouvelles structures en acier. Afin d'étudier le modèle numérique, une analyse du comportement de soutènement du sol par rideau de palplanche corrodée en appliquant des limites inférieures et supérieures rigoureuses résulte de données de contraintes et de déplacements. Un logiciel de méthode par éléments finis Comsol a été utilisé pour élaborer le modèle en 3D [11]. Par ailleurs, l'analyse paramétrique a été réalisée pour les déplacements horizontaux et verticaux de la paroi et les contraintes des sols.

## 2. Méthode d'analyse

Le comportement des murs de palplanches et du sol environnant, comme indiqué dans la figure 1, a été étudié par une étude paramétrique utilisant des méthodes numériques de la mécanique du continuum. La méthode des éléments finis a été utilisée pour les analyses des critères de rupture des conditions du sol.

L'élément fini Comsol Multiphysics est utilisé comme cadre pour la mise en œuvre du modèle proposé et la réalisation du couplage entre la palplanche et le sol, pour ces matériaux structuraux non linéaires, des modules de géomécanique et de corrosion sont utilisés [11].

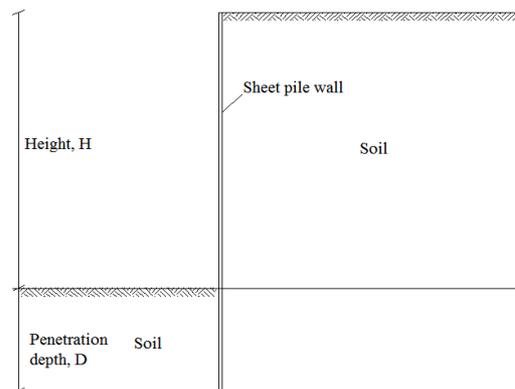


Figure 1– Modèle étudié

## 3. Modèle étudié

### 3.1 Propriétés des matériaux

La paroi de palplanche étudiée est en porte-à-faux avec une épaisseur de 19,00 mm, 10 m de hauteur et s'enfonce à une profondeur  $D = 5$  m dans le sol comme illustré sur la figure 1. Ainsi les propriétés des palplanches utilisées pour le modèle sont données dans le tableau 1.

Tableau 1. Propriétés du sol

Propriétés	Sol
Densité $\gamma$	19 kN/m <sup>3</sup>
L'angle de frottement $\phi$	35°
Cohesion C	0 kPa
$\Psi$	0
Module de Young E	20000 kPa
Coefficient de Poisson $\nu$	0.3
Interface $R_{int}$	0,67

Le critère de Mohr-Coulomb est utilisé, les propriétés du sol sont données dans le tableau 2. La palplanche corrodée est constituée d'un matériau élastique linéaire. La couche de sol inférieure est soutenue par une base rugueuse rigide et parfaite. Par conséquent, une contrainte fixe sur la limite horizontale inférieure est appliquée. Des contraintes in situ sont ajoutées à la fonction de contrainte et de déformation initiale. Notez que les contraintes causées par la gravité sont compressives, ce qui est dans la convention utilisée dans le module de mécanique structurelle signifie signe négatif. La contrainte horizontale  $\sigma_{xx}$  est utilisée sur la charge limite appliquée à la palplanche, la contrainte verticale  $\sigma_{yy}$  est également utilisée sur la charge limite et appliquée comme surcharge.

**Tableau 2. Propriétés du Rideau de palplanches**

Propriété	Rideau de palplanches
Densité $\gamma$	78,5 KN/m <sup>3</sup>
Module de Young E	210.10 <sup>6</sup> kPa
Coefficient de Poisson $\nu$	0,3

Les définitions et paramètres globaux sont donnés dans le tableau 3 en plus d'une paire d'identité pour la modélisation du contact entre le sol, la paroi de palplanches et la charge limite sur la palplanche diminuent progressivement. Au fond du sol, il assure des déplacements initiaux nuls.

**Tableau 3. Paramètres globales et définitions**

Paramètre	Valeur
Contrainte Horizontale	-20 [kPa]
contrainteVerticale $\sigma_{yy}$	-30 [kPa]
Hauteur H	10 m]

### 3.2. Approche de conception

La corrosion de l'acier est un phénomène naturel qui se produit dans certaines conditions, dans le cas des palplanches en acier, le principal facteur ayant une influence sur la corrosion est le sol. Une source acceptable pour estimer la perte d'épaisseur de l'acier peut être trouvée dans la norme européenne EN 1993 Eurocode 3: Calcul des structures en acier - Partie 5: Pieux Eurocode 3 [10].

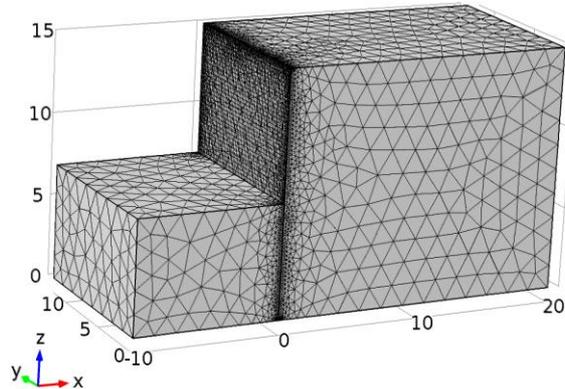
Dans cet article, la palplanche a été étudiée dans un sol naturel sur la face avant et autour de l'air dans la face arrière comme le montre la figure 1 et la méthode d'équilibre limite a été utilisée, il est supposé qu'il n'y a pas besoin de protection de surface et il permet à l'acier de se corroder et d'atteindre un facteur de sécurité pour atteindre plus de 1,5 pour assurer la stabilité du sol. La corrosion est simulée comme une perte d'épaisseur des palplanches.

### 3.3. Analyse

La modélisation par éléments finis composée d'analyses de déformations planes bidimensionnelles est réalisée à l'aide de Comsol [11]. Il a été utilisé pour étudier le comportement du sol de soutènement et pour étudier les déformations induites des murs de palplanches. Lors de l'utilisation d'un sol élastique linéaire dans l'analyse par éléments finis, la profondeur de la limite du modèle sous la ligne de dragage a un effet linéaire sur le mouvement vertical de la surface du sol au sommet du mur de palplanches pendant la simulation constructive, mais influence relativement très peu sur le mouvement horizontal de la face du mur. Le mur de palplanches a été modélisé en utilisant les dimensions de rectangles d'éléments en plaques

élastiques.

La figure 2 présente un maillage de modèle d'éléments finis typique composé d'éléments de nœuds. En raison d'une concentration de contraintes autour du mur, un maillage d'éléments finis plus fin a été utilisé dans ces zones et le maillage est devenu plus grossier dans les zones éloignées de la paroi de palplanches. 3600 éléments quadrilatères sont utilisés comme maillage plus fin et 9526 éléments triangulaires comme plus gros. Pour les conditions aux limites, les supports fixes ont été considérés au bas de la géométrie, les supports de rouleaux se trouvaient sur les limites verticales et les conditions de palplanches dans ce modèle seront libres.



*Figure 2– Maillage du modele*

Un modèle élastique-plastique est utilisé pour décrire le comportement du sol. Le modèle constitutif des sols de Mohr-Coulomb a été couramment utilisé dans la modélisation par éléments finis du mur de soutènement [12-15]. Le modèle de Mohr-Coulomb a été utilisé avec succès pour les sols granulaires et a donc été également utilisé dans cette étude pour modéliser le comportement contrainte-déformation du sol. Il s'agit également d'un modèle constitutif linéairement élastique et parfaitement plastique. Les paramètres nécessaires pour le modèle de Mohr-Coulomb sont le module d'Young et le coefficient de Poisson, pour la composante de déformation élastique du comportement du sol et pour les paramètres de résistance effective, la cohésion et l'angle de frottement sont utilisés.

L'interface entre la paroi de palplanches et le domaine du sol environnant est définie à l'aide d'éléments de contact poutre-solide bidimensionnels. Le comportement constitutif de l'interface est simulé et défini à l'aide des objets Contact Material 2D nD Material utilisés [16-18]. Ce modèle constitutif utilise une loi de frottement de Coulomb régularisée permettant le collage et le glissement de frottement. Dans cet article, une force d'interface  $R_{int}$  est définie, ce coefficient définit l'amplitude de la force de frottement développée pendant la condition de glissement.

#### 4. Résultats et interprétations

Les résultats obtenus à partir du critère de Mohr-Coulomb pour le modèle de sol dans le cas de palplanches non corrodées d'une épaisseur de 19,00 mm et de palplanches corrodées avec une épaisseur réduite à venir de 18,00 mm, 17,25 mm et 16,75 mm en fonction de la perte de son épaisseur recommandée par Eurocode 3 (2007) en raison d'une corrosion en face avant avec un sol naturel qui sont respectivement:  $dt = 1$  mm, 1,75 mm, 2,25 mm

La figure 5.3 montre les déplacements totaux du modèle étudié avec différentes épaisseurs de palplanches réduites (sans corrosion à  $t = 19$  mm et avec corrosion à  $t = 18$  mm, 17,25 mm et 16,75 mm consécutivement). Toutes les propriétés du sol et des palplanches sont constantes. On voit qu'il y a une augmentation relative des déplacements totaux depuis le début du service de rideau de palplanches, après que les déplacements totaux reviennent se stabilisent malgré que l'épaisseur se

reduit avec le temps, ce qui signifie que le sol se stabilisera après plusieurs années. Comme illustré sur la figure 5.3, le déplacement horizontal a augmenté avec une perte d'épaisseur de palplanches, et un déplacement horizontal maximal s'est également produit en haut du mur.

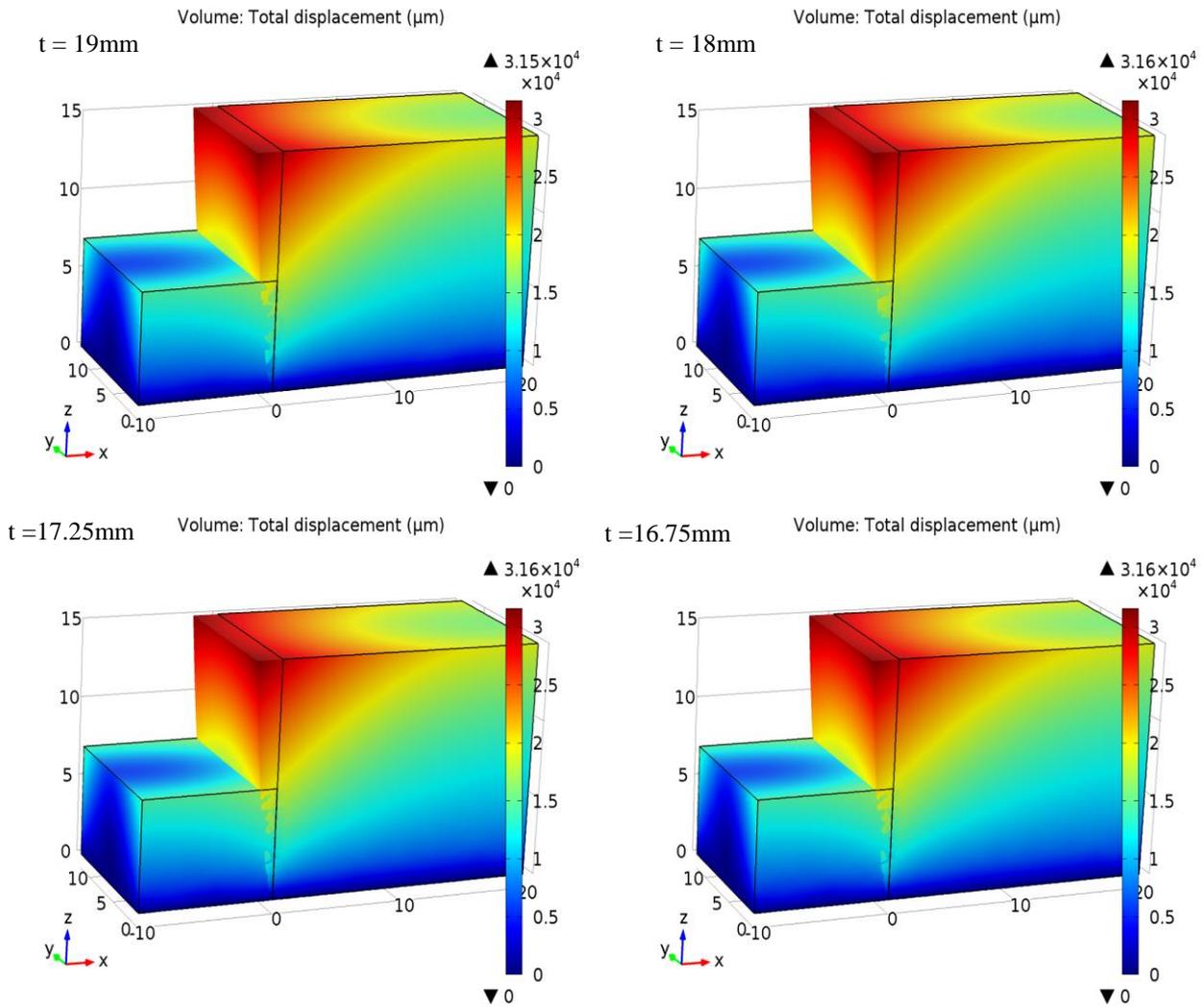
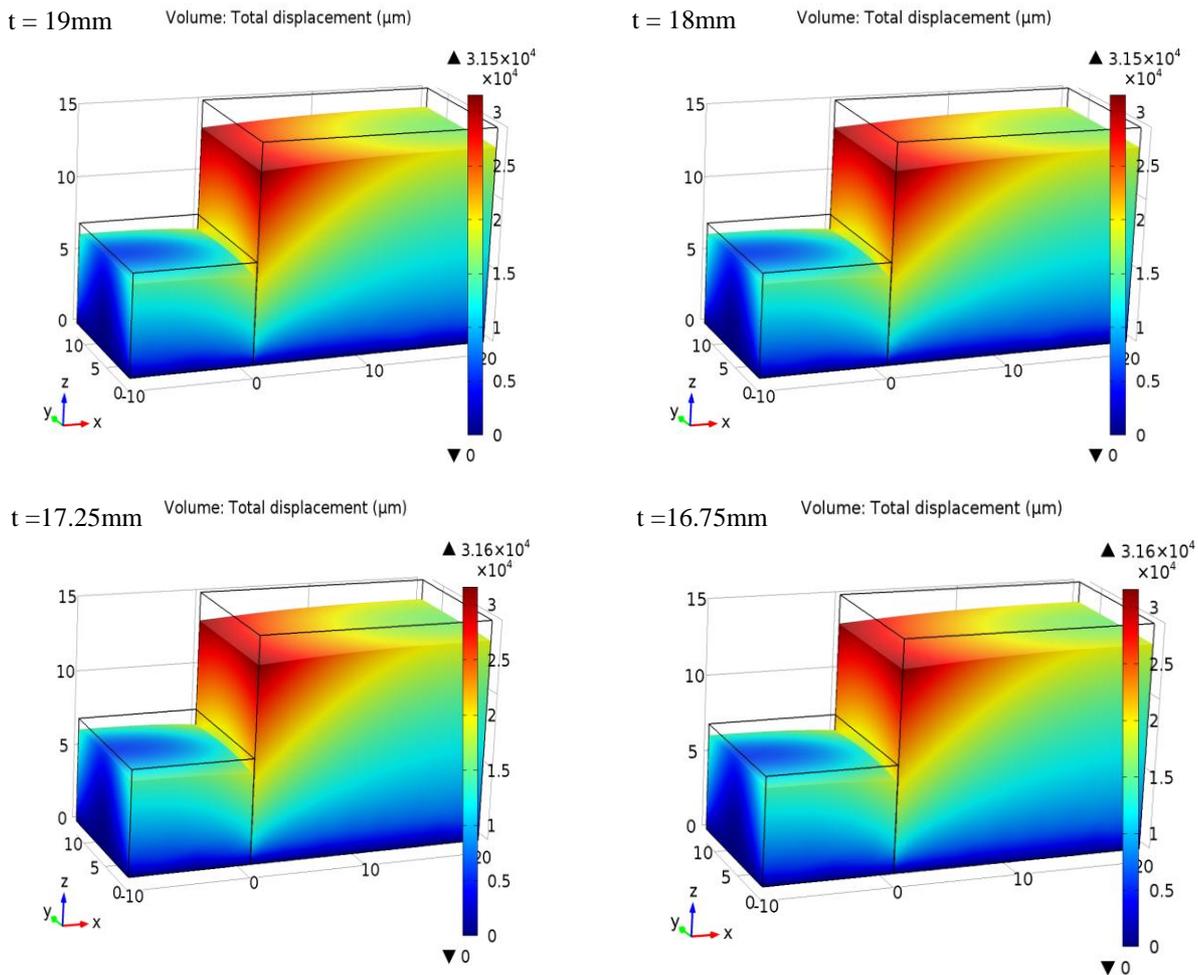
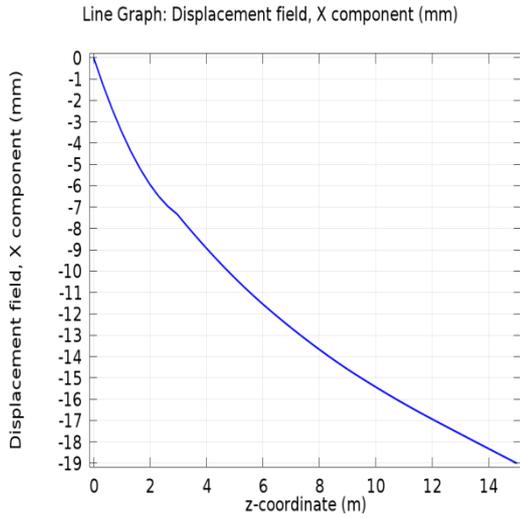


Figure 3– Déplacement horizontal total de modèle (rideau de palplanches+sol)

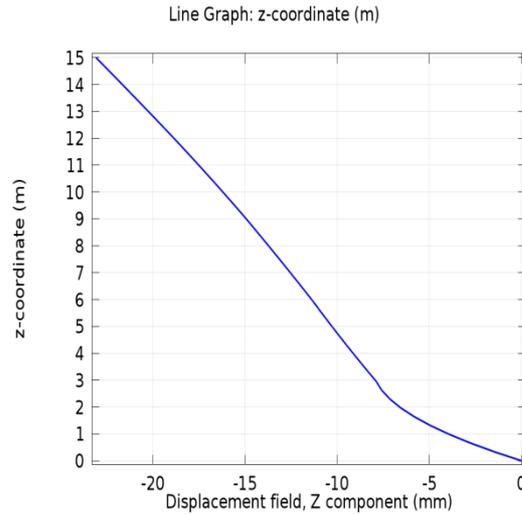


**Figure 4– Déplacement vertical total de modèle (rideau de palplanches+sol)**

Comme le montre également la figure 4, le déplacement vertical a augmenté avec la perte d'épaisseur des palplanches, et un déplacement vertical maximal s'est produit au sommet du mur. Comme il est évident sur les figures 5, 6, des déplacements horizontaux et verticaux maximaux se sont produits en haut du mur de palplanches. Comme il est montré, l'analyse par éléments finis pourrait prédire le comportement du déplacement du mur.

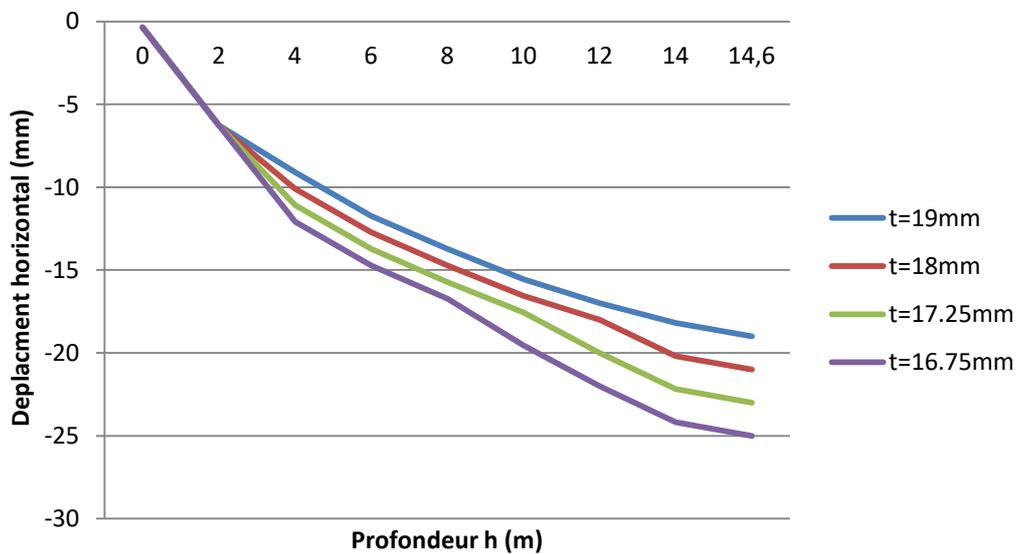


**Figure 5– Déplacement horizontal du sol et rideau de palplanches non corrodées en fonction de la profondeur**



**Figure 6– Déplacement vertical du sol et rideau de palplanches non corrodées selon la profondeur**

La figure 7 illustre les changements de déplacement horizontal sous l'effet de la perte d'épaisseur de rideau de palplanches corrodées. La perte d'épaisseur du mur de palplanches entraîne une augmentation de la variation du déplacement horizontal. Les valeurs des déplacements horizontaux sont également affectées par la perte d'épaisseur des palplanches sous l'effet de la corrosion. Le même phénomène est apparu à travers les changements de déplacement vertical sous l'effet de l'épaisseur réduite des palplanches comme le montre la figure 8.



**Figure 7– Effet de l'épaisseur réduite de rideau de palplanches sur le déplacement horizontal de mur et du sol en fonction de la profondeur**

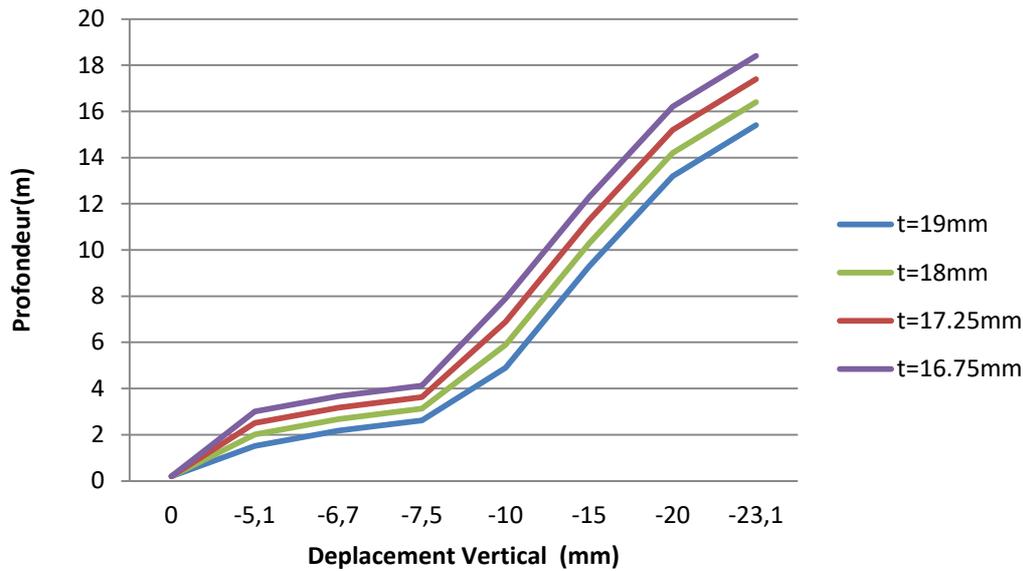


Figure 8– Effet de l'épaisseur réduite de rideau de palplanches sur le déplacement vertical de mur et du sol en fonction de la profondeur

## 5. Conclusion

De l'étude, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- Les déplacements horizontaux et verticaux ont été augmentés en raison de la perte d'épaisseur de la palplanche. Les déplacements totaux et le mode de ruine (région plastique) montrent que les variations possibles du poids du sol, des forces actives et de la surcharge ont une influence sur stabilité et résistance de la palplanche.
- Les déplacements totaux et le mode de ruine (zone plastique) montrent que les variations possibles du poids du sol, des forces actives et de la surcharge ont une influence sur la stabilité et la résistance de la palplanche. Le mode de ruine est sensiblement modifié pendant les périodes de service mais la durée au bout de laquelle les déplacements totaux deviennent importants pendant les années de leur service en raison de la réduction de l'épaisseur de la palplanche et par conséquent de son influence sur la ductilité et la résistance de rideau de palplanche
- Les déformations autour du mur de palplanches semblent ne pas être physiques. Au lieu de cela, une raison possible de la déformation pourrait être que le critère de Mohr-Coulomb permet des forces de traction dans le sol qui n'apparaissent pas dans la plupart des sols.
- La comparaison avec les résultats expérimentaux, sert à évaluer la précision des modèles numériques comme directions de validation, de test et de diagnostic pour éviter les erreurs numériques qui peuvent survenir dans le logiciel de simulation
- Dans les modèles étudiés, selon le critère de rupture de Mohr-Coulomb, la région plastique de déformation du sol s'élargit profondément et largement dans la durée de service des palplanches en raison de la perte de son épaisseur sous corrosion aussi elle s'élargit plus profondément et largement. Les déformations plastiques sont probablement le résultat du fait que les deux modèles de Mohr-Coulomb tiennent compte des contraintes de traction dans le sol qui se sont propagées le long de la surface dans le présent modèle.
- Une autre caractéristique qui pourrait être intéressante à observer est l'endroit où le sol a atteint l'état limite pour le critère de Mohr-Coulomb. Les zones plastiques développées après la dernière étape de calcul qui peuvent être observées.
- On peut voir qu'il existe des différences dans le cas où Comsol (2016) a atteint la limite d'élasticité, il a également généré des déformations plastiques sur la surface du sol à une certaine distance de la palplanche.

- Généralement, ces résultats peuvent être utiles aux chercheurs afin de concevoir des murs de palplanches résistants. De plus, la modélisation en méthode FEM serait une solution appropriée pour prédire le scénario de corrosion du sol supporté par des palplanches par son temps de service.
- Une étude par éléments finis a été menée pour étudier le comportement du sol soutenu par des palplanches. En raison du manque et de la difficulté des tests expérimentaux, nous nous sommes intéressés à la prise en compte des effets tridimensionnels afin de trouver les conditions optimales d'une modélisation qui pourra donner des résultats et des conclusions satisfaisants économiquement et pratiquement en mécanique des sols.

## Références

- [1]- Qiu, G. and Grabe, J, 2012, “Active earth pressure shielding in quay wall constructions: Numerical modelling”, *Acta Geotechnica*; Vol 7, p 343–355.
- [2]- Paul, S, 2016, "Modeling unpredictable failures of 304 construction material in seawater by pitting corrosion and simulate chloride ion distribution by finite element method", *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*; Vol 12 (3), p 543-557.
- [3]- Shooshpasha, I and Amirdehi, H.A, 2015, “Evaluating the stability of slope reinforced with one row of free head piles”, *Arabian Journal of Geosciences*; Vol 8, p 2131–2141.
- [4]- Maedeh, P.A., Ghanbari, A and Wu, W, 2016, “Investigation of Soil Structure Interaction and Wall Flexibility Effects on Natural Sloshing Frequency of Vessels”, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*; Vol 21 (20), p 6699-6713.
- [5]- Emarah, D.A and Seleem, S.A, 2018, “A numerical study of anchored sheet piles subjected to different types of sandy soils backfill”, *HBRC journal*; Vol 14(3), p 422-430
- [6]- Tung, S., Bhandari, G., and Mukherjee, S, 2016, “Behavior of sheet pile as seepage cutoff below earthen dam”, *International Journal of Geotechnical Engineering*; Vol 10 (2) p 162-173.
- [7]- Zahmatkesh, A. and Choobbasti, A.J, 2015, “Evaluation of wall deflections and ground surface settlements in deep excavations”, *Arabian Journal of Geosciences*; Vol 8, p 3055–3063
- [8]- Rashidi, F., Arefizadeh, H, and Mansouri, M, 2017, “Numerical Modeling of Stabilized Excavation by Anchorage Method and Investigation on Parametric Results—A Case Study”, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*; Vol 22 (6), p 1691-1702.
- [9]- Wall, H. and Wadsö, L, 2013, “Corrosion rate measurements in steel sheet pile walls in a marine environment”, *Marine Structure*; Vol 33, p 21–32.
- [10]- European Committee for Standardization. Eurocode 3, 2007, Design of steel structures – part 5: piling.
- [11]- Comsol, Version 5. (2016), Comsol Multiphysics User’s Guide.
- [12]- Singh, A.P, Chatterjee, K, 2020, “Ground Settlement and Deflection Response of Cantilever Sheet Pile Wall Subjected to Surcharge Loading”, *Indian Geotechnical Journal*; Vol 50, p 540–549.
- [13]- Tan, Y. and Lu, Y, 2009, “Parametric studies of DDC-induced deflections of sheet pile walls in soft soils”, *Computers and Geotechnics*; Vol 36, p 902– 910.
- [14]- Bilgin, Ö., and Erten, M.B, 2009, “Analysis of anchored sheet pile wall deformations. In: Contemporary topics in ground modification, problem soils, and geo-support (GSP 187)”, *International foundation congress and equipment expo*, p 137–144.
- [15]- Tan Y. and Paikowsky S.G. 2008, “Performance of sheet pile wall in peat”, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*; Vol 134 (4), p 445–58.
- [16]- Neher, H.P. and Lachler, A, 2006, “Numerical modelling of a diaphragm wall production process in Rotterdam compared to monitoring data”, *In: Sixth European conference on numerical methods in geotechnical engineering; Graz, Austria*, 417–422.
- [17]- Schweiger, H, 2002, “Results from Numerical Benchmark Exercises in Geotechnics”, *Proc, 5th European Conference in Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, p 305–314.
- [18]- Tang, L, Cong, S, Xing, W, Ling, X, Geng, L, Nie, Z and Gana, F. 2018, “Finite element analysis of lateral earth pressure on sheet pile walls”, *Engineering Geology*; Vol 244 (3) p 146-158.