

# Etude expérimentale de pieux vissés pour fondation en zone littorale

**NABY Jeanne Jacintha**

*LMGC, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France*

## RESUME

Les pieux vissés sont une technologie de fondation légère, résistante et à faible impact environnemental. Ils sont généralement utilisés pour des sols de faible portance, notamment en milieux aquatique et côtier. Dans ce travail, on s'intéresse à la caractérisation du comportement et à l'optimisation de ce type de fondation dans le cadre de l'implantation de structures temporaires sur le littoral, sous différentes conditions de charge et d'environnement. Ainsi, une étude paramétrique expérimentale est menée pour évaluer l'impact des paramètres géométriques (diamètre d'hélice, profondeur d'encastrement du pieu, espacement et nombre d'hélices) en conditions sèche et saturée. Des essais avec des pieux à section pleine et demi-section ont été effectués. Le dispositif est basé sur un modèle réduit en impression 3D et un sol modèle en billes de verres. Les champs de vitesse et gradients de déformation du sol obtenus par corrélation d'images (DIC) permettent d'identifier les faciès de rupture autour des pieux et de mieux comprendre les mécanismes d'interaction pieu-sol. Ces résultats expérimentaux sont ensuite comparés aux prédictions des modèles analytiques afin de valider et d'affiner les modèles de conception proposés dans le cadre de cette étude. Dans cet article, seuls les résultats en traction seront présentés, la compression, une démarche expérimentale à échelle 1 ainsi qu'une modélisation numérique feront l'objet d'autres publications.

**Mots-clefs** pieux vissés, comportement pieu-sol, zone littorale, corrélation d'image

## I. INTRODUCTION

L'accès en toute autonomie à la mer reste encore un problème en France actuellement. Un système de mise à l'eau fixe, ludique et thérapeutique, situé à Hyères, développé par l'association « un fauteuil à la mer », solutionne ce problème. Mais, il n'est pas transposable partout vu sa non-conformité à la loi du littoral. Cette loi du 03 janvier 1986 précise que tout aménagement sur la plage doit être démontable, transportable et à faible impact environnemental. C'est dans ce cadre que le projet POZEIA a vu le jour. Ce projet a pour objectif le développement d'un ponton d'accès à la mer pour tous (Figure 1) à base de structures de tensegrité, léger, pliable/dépliable et modulaire. La partie superstructure de ce projet est déjà conçue, réalisée et validée sur le terrain par Issam Hrazmi (Hrazmi et al., 2021). Concernant la partie infrastructure, une solution basée sur des pieux vissés hélicoïdaux est envisagée (Figure 2).

Les pieux hélicoïdaux, utilisés généralement dans des ouvrages maritimes, sont un type de fondation économique, réutilisable et respectueux de l'environnement. Ils résistent bien à la

traction, à la compression et aux charges latérales. Le diamètre d'hélice, la profondeur d'encastrement du pieu, l'espacement et le nombre d'hélices, sont des paramètres qui déterminent leur capacité portante. Des études sur la conception de ce type de pieu ont été menées par plusieurs chercheurs. Meyerhof et Adams ont proposé un modèle de conception de pieu à une hélice sollicitée en traction (Meyerhof and Adams, 1968). Ils ont constaté qu'à la rupture, l'hélice présente une surface de rupture de forme cylindrique, comprimée par les sols environnants. Dans d'autres études, Ghaly et al. ainsi que Saeedy, envisagent une surface de rupture en forme de cône tronqué inversé au-dessus de l'hélice (Ghaly et al., 1991; Saeedy, 1987). Ghaly suppose que ce cône présente un profil rectiligne et Saeedy quant à lui, a pris en compte une forme curviligne. Ces études concernent toutes le cas sec alors que le domaine d'emploi envisagé pour le ponton est un milieu saturé. De plus, ces travaux soulignent un changement de comportement du pieu en fonction de sa profondeur (situation superficielle ou profonde), sans que les critères de cette transition ne soient clairement établis. A cela s'ajoute les hypothèses de calcul sur la forme de la surface de rupture proposés dans la littérature qui restent également à approfondir. Dans ce contexte, pour valider cette solution économique et facile à installer, nous allons procéder à une optimisation du modèle de conception du pieu hélicoïdal. Dans le cadre de cet article, nous nous concentrerons spécifiquement sur le comportement du pieu soumis à une charge de traction. Ce mode de fonctionnement, bien que pouvant arriver plus rarement dans des situations où les charges verticales sont appliquées sur la structure de manière excentrée ou lors de chargement hydraulique en soulèvement, n'en est pas moins important à caractériser car il peut mener très vite à un décollement d'appuis puis un basculement et une instabilité d'ensemble de la structure.

Pour cette étude, nous commençons par identifier expérimentalement les paramètres les plus influents sur la résistance du pieu en traction. Ensuite, nous allons procéder à l'observation de la surface de rupture formée lors de la mise en charge. Enfin, nous proposerons un modèle de conception.



**FIGURE 1.** Module de ponton en situation de test pour l'accès à la mer pour tous



**FIGURE 2.** Pieux hélicoïdaux mis en œuvre

## II. ETUDE PARAMETRIQUE EXPERIMENTALE

Cette partie est consacrée à l'étude paramétrique expérimentale de pieux hélicoïdaux à échelle 1/8 dans un sol modèle, sollicités en traction, dans des conditions sèche et saturée. L'objectif est d'identifier les paramètres géométriques influençant leur résistance en traction (Figure 3).

### A. Matériaux et matériels utilisés

Plusieurs configurations et géométries de pieux hélicoïdaux sont testées pour un total de 23 pieux différents (tableau 1), ayant donné lieu à plus de 300 essais suivant l'état du milieu, le type de sollicitation et les tests de répétabilité. Chaque spécimen est imprimé en 3D (Figure 4) par dépôt de fil PLA (acide polylactique).

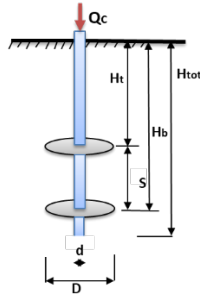


FIGURE 3. Paramètres géométriques des pieux

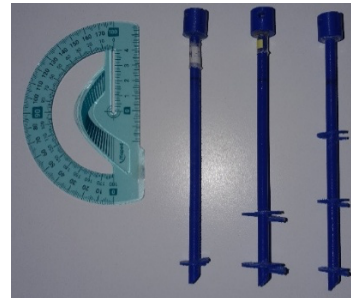


FIGURE 4. Pieux hélicoïdaux imprimés en 3D

TABLEAU 1. Géométries des pieux hélicoïdaux testés (23 combinaisons au total)

	Pieux	H <sub>tot</sub> [mm]	H <sub>t</sub> [mm]	H <sub>b</sub> [mm]	d [mm]	D [mm]	S [mm]	n [-]
Variation de D	D/d = 1,50 à 4,00 (d fixe)	125	83,25	112,5	6,5	9,75 à 26,03	29,25	2
Variation de n	n = 1 à 3	125	31,98 à 112,50	112,5	6,5	9,75 à 26,03	40,26	1 à 3
Variation de H <sub>tot</sub>	H <sub>tot</sub> = 32 à 180 mm	32 à 180	-	19,50 à 167,50	6,5	17,89	-	1
Variation de S avec H <sub>tot</sub> = 180 mm	S/D = 0,50 à 4,75 (D fixe)	180	82,52 à 158,55	167,5	6,5	17,89	8,95 à 84,98	2

Avec :

- H<sub>tot</sub> : Hauteur totale du pieu
- H<sub>t</sub> : Hauteur d'encastrement de l'hélice supérieure depuis la surface
- H<sub>b</sub> : Hauteur d'encastrement de l'hélice la plus basse depuis la surface
- d : Diamètre du fût
- D : Diamètre de l'hélice
- S : Espacement entre les hélices
- n : Nombre d'hélices

Le sol modèle est constitué de billes de verre de diamètres 70 à 110  $\mu\text{m}$  (tableau 2), respectant la condition de Garnier sur la similitude, qui dit que le rapport du diamètre du fût  $d$  avec le diamètre moyen des grains  $D_{50}$  (ici à 85,35  $\mu\text{m}$ ) doit être supérieure ou égale à 35 (Garnier, 2002). Ce rapport est de 76 dans notre cas.

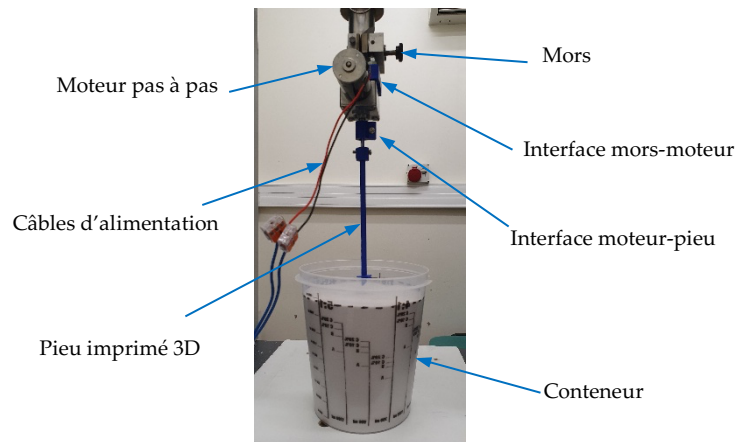
TABLEAU 2. Caractéristiques des billes de verre utilisées

Masse volumique sèche	1570 kg/m <sup>3</sup>	Indice de vide e	0,561
Masse volumique saturée	1931 kg/m <sup>3</sup>	Teneur en eau saturée W	23 %
Porosité n	35,9 %	Angle de frottement interne	29°

L'échantillon de sol est contenu dans un bac gradué en plastique, en forme de tronc de cône, de diamètres intérieurs 110 mm à la base et 150 mm en haut, et de hauteur 168 mm. La hauteur des

billes de verre dans le conteneur est fixée à 135 mm. Ces dimensions permettent de limiter les effets de bord lors de la traction, selon la recommandation d'une largeur de conteneur d'au moins 2,5 fois le diamètre d'hélice, soit 65 mm minimum dans notre cas, pour un diamètre de pieux maximal de 26 mm) (Abbas et Ali, 2020). Nous avons également vérifié certains essais dans un autre conteneur plus grand, de forme cylindrique, voire un diamètre de 250 mm sur 300 mm de hauteur, et les résultats restent inchangés, ce qui démontre une bonne maîtrise de l'effet de bord.

Les tests sont menés sur une machine universelle MTS équipée d'un capteur de gamme 500 N. Une interface spécifique a été réalisée pour la fixation des modèles de pieux. Un moteur pas à pas est intégré à cette interface afin de minimiser la variabilité due à une intervention humaine en automatisant la phase de mise en place par vissage dans le sol modèle au début de chaque essai.



**FIGURE 5.** Positionnement du pieu sur la machine MTS avant installation dans le milieu (cas sec)

### B. Démarche expérimentale

Les essais sont faits dans le cas sec puis saturé, par ajout d'eau. Le protocole d'essai, répété au minimum 3 fois par jeu de paramètres, est alors établi comme suit :

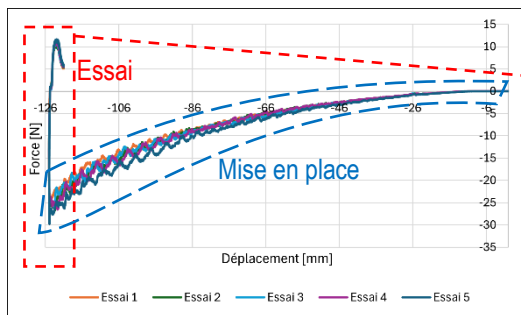
1. **Mise en place du milieu modèle** : eau (pour sol saturé) puis billes de verre.
2. **Compactage** : induit par 4 chocs à l'aide d'un maillet sur le côté du conteneur.
3. **Mise en place des pieux** : de manière automatisée, les pieux sont mis en rotation par le moteur intégré en série du capteur de force simultanément à l'enfoncement par la machine à une vitesse synchronisée au pas de l'hélice (40 mm/min pour une rotation de 10 tr/min et un pas de 4 mm) (Figure 5).
4. **Essai** : mise en traction à une vitesse de 2 mm/min pendant 2 min, soit un déplacement total de 4 mm. Cette vitesse est choisie, après étude préalable, pour rester dans un régime quasi-statique.

### C. Résultats et interprétation

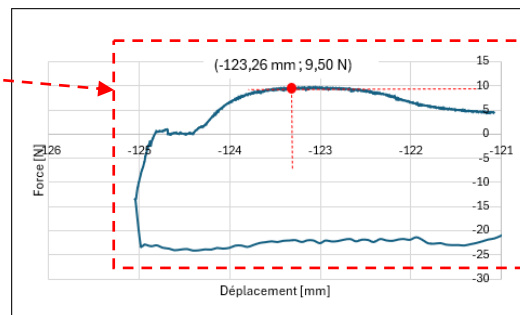
Les courbes force-déplacement obtenues comportent deux parties (Figure 6) :

- Un premier régime non-régulier et étendu en déplacement (abscisse) correspondant à la mise en place par vissage du pieu jusqu'à la profondeur de début d'essai, où l'on mesure ici de la compression (valeurs négatives) ;
- La courbe d'essai de traction (figure 7) se développant sur un domaine restreint en abscisses et de forme typique avec un extremum (valeurs positives).

La figure 6 montre les courbes brutes obtenues à la suite de 5 essais de traction sur un même pieu de géométrie type  $D/d = 2,75$  à deux hélices (Tableau 1) dans le cas sec, illustrant une bonne répétabilité des résultats. Pour un essai donné, la charge de rupture est définie sur la courbe par la valeur au pic (Figure 7). Dans le cas illustré ici ( $D/d=2,75$ ), la valeur obtenue est de 9,50 N.



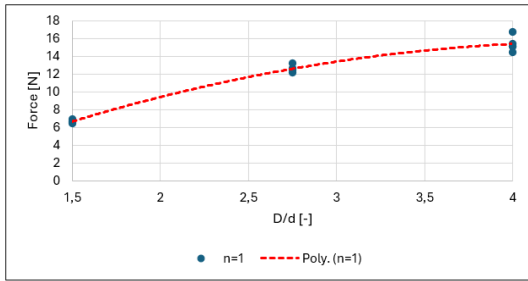
**FIGURE 6.** Courbes brutes de 5 essais répétés, pour  $D/d=2,75$ , cas sec



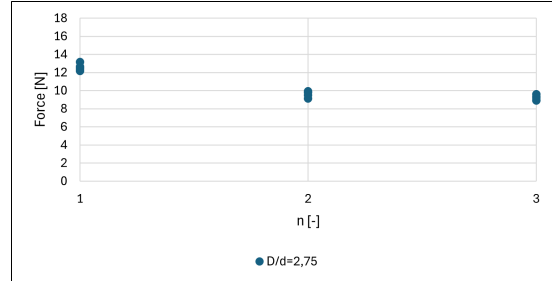
**FIGURE 7.** Détail sur une courbe de traction (Force > 0) pour  $D/d=2,75$ , cas sec

Les courbes représentées en figure 8 à 11 sont une synthèse des essais menés avec les géométries définies dans le Tableau 1 pour le cas sec. Elles montrent l'évolution de la charge de rupture en fonction des différents paramètres :

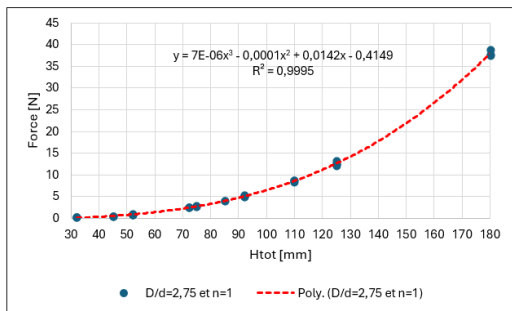
- La figure 8 montre l'accroissement de la résistance des pieux avec le diamètre  $D$  (et indirectement la surface) de l'hélice, de 90 % pour  $D/d$  allant de 1,5 à 2,75 puis de 22 % de 2,75 à 4 ;
- La figure 9 montre, de manière contre-intuitive, que la charge de rupture diminue avec le nombre d'hélices ;
- La figure 10 permet de visualiser l'augmentation de la charge de rupture en fonction de la profondeur d'encastrement du pieu. Celle-ci augmente de 0,17 N à 37,94 N pour des profondeurs variant entre 32 et 180 mm ;
- La figure 11 rend compte de l'influence de la variation de l'espacement des hélices sur la charge de rupture, qui augmente légèrement de  $S/D = 0,5$  à 2,25, et reste pratiquement stable au-delà de cette valeur. L'augmentation de l'espacement entraîne un accroissement de la charge de rupture d'environ 30% sans toutefois dépasser celle du pieu à une seule hélice pour une même profondeur.



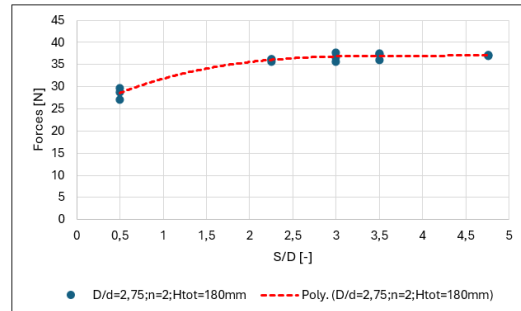
**FIGURE 8.** Variation du diamètre d'hélice du pieu à une hélice avec  $H_{tot} = 125$  mm



**FIGURE 9.** Variation du nombre d'hélice de pieu avec  $D = 17,89$  mm

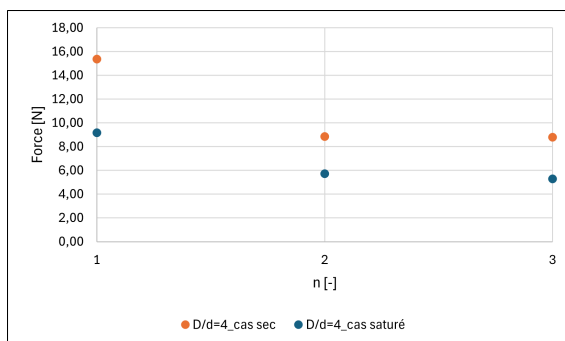


**FIGURE 10.** Variation de la profondeur totale du pieu à une hélice avec  $D = 17,89$  mm

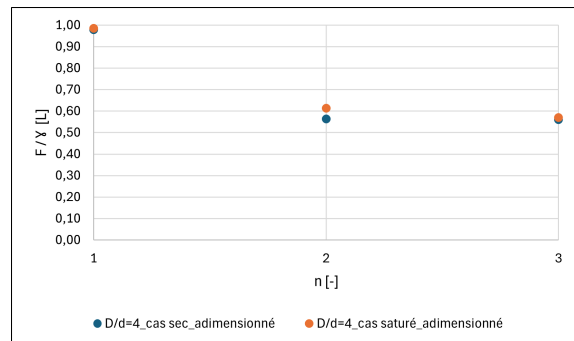


**FIGURE 11.** Variation de l'espacement d'hélices de pieu avec  $D = 17,89$  mm

Pour évaluer l'impact de l'eau sur la résistance des pieux, nous avons comparé leur charge de rupture dans les cas sec et saturé. En Figure 12, on présente l'évolution des valeurs au pic mesurées en fonction du nombre d'hélices, pour un diamètre donné, dans les deux cas. On constate que les écarts entre la capacité en traction dans les conditions sèches et saturées sont assez réguliers. Les rapports des résistances sec/saturé sont situés entre 1,55 à 1,68. Ces valeurs correspondent au rapport du poids volumique sec ( $15\,700\text{ N/m}^3$ ) et effectif ( $9\,310\text{ N/m}^3$ ) des billes de verre qui est de 1,69. Le tracé des résistances adimensionnées par rapport au poids volumique en figure 13 permet de constater cette relation directe.



**FIGURE 12.** Résistance en cas sec et saturé pour  $n = [1, 2, 3]$  et  $D = 26,03$  mm



**FIGURE 13.** Rapport Résistance/poids volumique pour  $n = [1, 2, 3]$

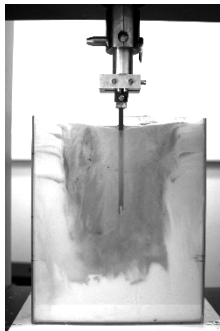
L'étude des résistances en cas sec et saturé en fonction des autres paramètres géométriques (non illustrée ici) montre la même corrélation avec le poids volumique. Ainsi, dans les deux cas, les paramètres les plus influents qui ressortent sont la profondeur d'encastrement et le diamètre de

l'hélice, le nombre d'hélices n'augmentant pas la résistance à l'arrachement. Une première conclusion est qu'une résistance maximale est obtenue avec un pieu hélicoïdal enfoncé profondément et avec un diamètre d'hélice large.

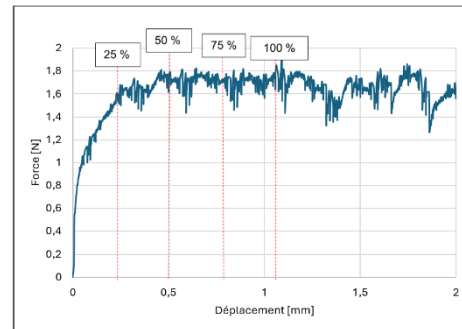
### III. IDENTIFICATION DES MODES DE RUINE PAR IMAGERIE

Après avoir identifié les paramètres géométriques les plus influents sur la résistance des pieux, et dans l'objectif de proposer un modèle de résistance, nous avons étudié le mode de rupture du milieu modèle par traitement d'images. Pour illustrer la démarche, l'étude n'est détaillée que sur le cas d'un pieu comportant une seule hélice située à mi-hauteur du fût ( $D/d = 2,75$ ,  $H_{\text{tot}} = 125$  mm,  $H_t = 56$  mm,  $d = 6,5$  mm).

Le problème étant à symétrie cylindrique, un dispositif d'essai est construit pour acquérir des images sur une section verticale du pieu plaqué contre une paroi vitrée dans le milieu modèle (Figure 14). Le déplacement du pieu et des particules des billes de verre lors de la mise en charge est capturé à l'aide d'une caméra à un taux de six images par minute. La vitesse de mise en charge du pieu est de 0,5 mm/min et le déplacement des grains est analysé à différents stades de déformation de 25 à 100% du déplacement correspondant au pic de charge (Figure 15).

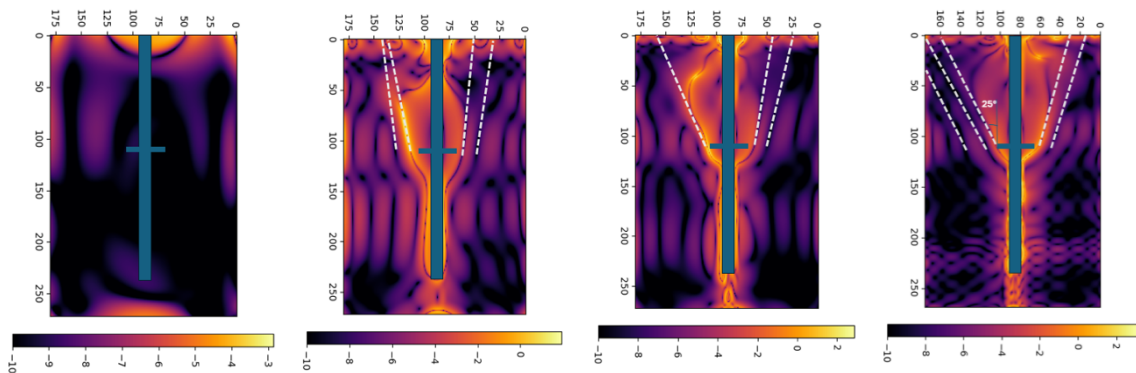


**FIGURE 14.** Dispositif d'essai d'un demi-pieu avec imagerie



**FIGURE 15.** Détail de l'évolution de la force de traction au cours de l'essai

Les images obtenues sont traitées par corrélation d'images pour identifier le champ des déplacements puis, par dérivation, le profil qualitatif de la surface de rupture par cisaillement. Ainsi, la figure 16 montre l'intensité, en échelle logarithmique, du gradient des déplacements des billes de verre. Un gradient élevé (jaune) signifie une grande variation de déplacement entre deux régions contiguës, que l'on interprète comme la présence d'une ligne de rupture dans cette zone.



**FIGURE 16.** Gradient du champ des déplacements à 25%, 50%, 75% et 100% de la limite de rupture. Les zones claires indiquent des déplacements relatifs importants, interprété comme le lieu de cisaillement interne au milieu.

On remarque qu'à partir de 50% de déplacement par rapport à la rupture, une surface en forme de cône tronqué apparaît au-dessus de l'hélice jusqu'à la surface. Cette constatation rejoint les études de divers chercheurs, notamment de Ghaly (Ghaly et al., 1991). L'inclinaison de ce cône évolue jusqu'à la rupture où elle présente une inclinaison maximale avec la verticale de 25°.

#### IV. MODELE PROPOSE

D'après les images obtenues lors des essais présentant une surface de rupture conique, le modèle que nous proposons, inspiré d'un modèle initial établi par Ghaly (Ghaly et al., 1991), repose sur un schéma de cône tronqué dont la petite base coïncide avec le diamètre de l'hélice du pieu. Le principe, présenté en figure 17, est que la résistance  $Q_u$  corresponde au volume de sol agissant par son poids sur l'hélice ( $W$ ), auquel s'ajoute la résultante de la friction sol-sol ( $T$ ) mobilisée le long de la surface conique de rupture.

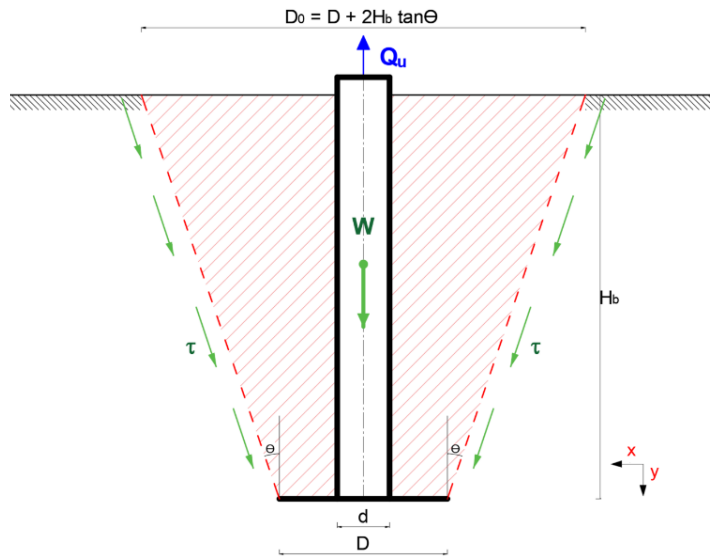


FIGURE 17. Modèle de calcul du pieu en traction

La résistance totale  $Q_u$  s'exprime donc par :

$$Q_u = W + T \quad (1)$$

Où :

$$\left\{ \begin{aligned} W &= \gamma(V_{\text{cône}} - V_{\text{ût}}) = \gamma \left( \left[ \frac{\pi}{12} (D^2 + D \cdot D_0 + D_0^2) H_b \right] - \left[ \frac{\pi}{4} d^2 H_b \right] \right) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} T &= \int_{S_{\text{totale}}} \tau_y \cdot dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{H_b} (\gamma \cdot K_\delta \cdot z \cdot \cos\theta) \left( r \cdot d\alpha \cdot \frac{dz}{\cos\theta} \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Ici,  $D_0$  est le diamètre maximal du cône tronqué et  $\delta$  l'angle d'incidence de la pression des terres par rapport à la surface de rupture.  $\gamma$  est le poids volumique des billes de verre sèche (15700 N/m<sup>3</sup>).  $\tau_y$  est la composante suivant y de la résistance au cisaillement  $\tau$  et  $K_\delta$  qui est l'équivalent de  $K_p \cdot \tan(\delta)$  avec  $K_p$  le coefficient de pression des terres.

Dans le calcul de  $T$  (eq. 3), le rayon  $r$  du cône à l'altitude  $z$  est :

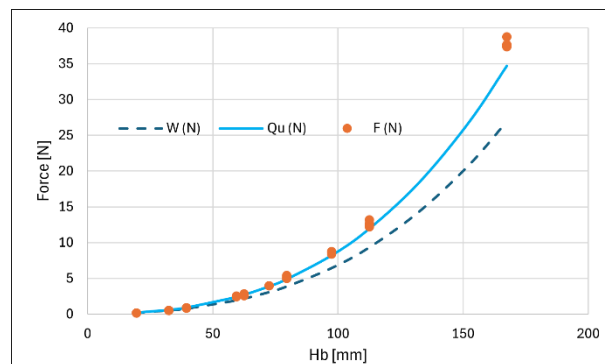
$$r = \frac{B_0}{2} - \frac{B_0 - B}{2H_b} z$$

(4)

Ce qui conduit à :

$$Q_u = \gamma \left( \left[ \frac{\pi}{12} (D^2 + D \cdot D_0 + D_0^2) H_b \right] - \left[ \frac{\pi}{4} d^2 H_b \right] \right) + \pi \gamma H_b^2 \left( \frac{1}{2} D + \frac{1}{3} H_b \tan \theta \right) K_\delta \quad (5)$$

La résistance  $Q_u$  est en fonction d'un paramètre inconnu  $K_\delta$ . Pour la valeur de  $\theta$ , nous avons commencé par utiliser celle observée par imagerie qui est de  $25^\circ$ . Après calage, nous avons obtenu une valeur de  $K_\delta$  égale à 0,15. Ces paramètres nous ont conduit à des écarts entre résultats théoriques ( $Q_u$ ) et expérimentaux (F) compris entre 2 et 30%. Par minimisation aux moindres carrés entre le modèle et les résultats expérimentaux, et en faisant varier  $\theta$  en fonction de  $K_\delta$ , nous obtenons des valeurs de  $\theta$  à  $27^\circ$  pour un  $K_\delta$  de 0,15 (figure 18). Avec ces paramètres, la majorité des écarts sont inférieure à 9%, sauf dans les cas des pieux de faible profondeur (19% pour  $H_b = 19,5$  mm et 28% pour  $H_b = 32,5$  mm). L'optimum trouvé diffère de l'observation en imagerie ( $25^\circ$ ) mais reste dans l'ordre de grandeur.  $27^\circ$  correspond à 90% de l'angle de frottement interne ( $29^\circ$ ) et est bien entre  $0$  à  $\varphi$ , comme l'indique Ghaly (Ghaly et al., 1991).



**FIGURE 18.** Résultats d'essais F et résistance  $Q_u$  du modèle en fonction de la profondeur ( $D/d = 2,75$ ,  $d = 6,5$  mm, cas sec)

Il est important de souligner que pour que le modèle soit valide, le rapport entre le diamètre de l'hélice et celui du fût doit être suffisamment élevé, au moins égal à 2. Cette condition semble nécessaire pour permettre la formation du cône de résistance, ce qui est corroboré par l'imagerie, et doit être étudié plus finement.

## V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, un dispositif a été proposé pour mener des essais de traction à échelle réduite sur différentes géométries de pieux équipés d'hélices hélicoïdales afin d'explorer les paramètres prépondérants dans la résistance, pour un dimensionnement. La finalité concernant des applications en zone littorale, l'impact de l'eau dans le sol est également étudié, en réalisant ces essais en milieu modèle sec et saturé.

Ainsi, les paramètres déterminants pour la résistance des pieux sont la profondeur d'encastrement et le diamètre de l'hélice. En revanche, le fait d'avoir plusieurs hélices n'apporte pas de gain en termes de résistance en traction.

Afin d'identifier les surfaces de rupture lors de la ruine du sol en traction, des essais ont été menés sur des demi-spécimen, coupés dans le plan vertical de symétrie, afin de suivre par corrélation d'images le champ de déplacement du sol lors de la mise en charge. Ces observations ont permis de proposer un modèle de résistance en traction pour les pieux à une hélice, basés sur des paramètres géométriques (profondeur et diamètre de l'hélice) et des paramètres liés au milieu, calés sur les résultats expérimentaux. Bien qu'identifié sur une seule géométrie d'hélice, ce modèle se montre relativement efficace pour prédire la résistance d'autres configurations où le diamètre de l'hélice reste significatif par rapport à celui du fût, en milieu sec ou saturé.

Cette étude menée en laboratoire à échelle réduite est amenée à être enrichie par d'autres essais, ainsi que par approche numérique. De plus, la résistance en compression est en cours d'étude avec la même approche.

Au-delà de la résistance, le comportement en rigidité de ce type de fondation est à approfondir afin de permettre une analyse globale de structures et leurs interactions. Des essais à échelle 1 et en conditions réelles sont envisagés pour une validation du modèle et de ce type de solution pour l'implantation de structures légères en zone littorale.

## REFERENCES

Abbas, H.O., Ali, O.K., 2020. Parameters Affecting Screw Pile Capacity Embedded in Soft Clay Overlaying Dense Sandy Soil, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, p. 012117. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012117>

Garnier, J., 2002. Modélisation physique en géotechnique: II - Validation de la méthode et exemples d'applications(1). Rev. Fr. Geotech. 5–28. <https://doi.org/10.1051/geotech/2002098005>

Ghaly, A., Hanna, A., Hanna, M., 1991. Uplift Behavior of Screw Anchors in Sand. I: Dry Sand. ASCE Library. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:5\(773\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:5(773))

Hrazmi, I., Averseng, J., Quirant, J., Jamin, F., 2021. Deployable double layer tensegrity grid platforms for sea accessibility. Engineering Structures 231, 111706. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111706>

Meyerhof, G.G., Adams, J.I., 1968. The Ultimate Uplift Capacity of Foundations. Can. Geotech. J. 5, 225–244. <https://doi.org/10.1139/t68-024>

Niroumand, H., Saaly, M., 2019. Design and construction of helical anchors in soils, in: Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies. Elsevier, pp. 113–157. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816564-5.00005-0>

Saeedy, H.S., 1987. Stability of circular vertical earth anchors. Can. Geotech. J. 24, 452–456. <https://doi.org/10.1139/t87-056>