

FONDATIONS & ANCRES

Fondations et ancrs gravitaires

Ce sont des structures volumineuses et lourdes posées au sol. Leur capacité à résister aux efforts de traction, glissement et renversement est proportionnelle à son poids. Une voie d'optimisation pour les sollicitations latérales consiste à prendre en compte la résistance de frottement qui dépend de la nature du sol. Les ancrs gravitaires sont communément appelées « corps morts ».

Dans le domaine de l'éolien offshore posé, ces fondations sont souvent coniques avec des diamètres supérieurs à 15 m, leur structure est faite en béton précontraint et l'intérieur est ballasté avec un matériau plus dense que le béton comme l'olivine, augmentant ainsi sa capacité. Le coût de ces technologies est directement conditionné par la grande quantité de matière utile pour la capacité de résistance recherchée, ainsi que les moyens de transport sur site.

Fondations et ancrs de type pieu

Les pieux sont des fondations profondes cylindriques enfoncées dans le sol. Ils sont capables de s'adapter à des profils de sol très différents (argiles, sables, roches molles). Il s'agit de tubes en acier enfoncés dans le sol marin de 30 m en moyenne. Leurs dimensions (diamètre, enfoncement, épaisseur d'acier) dépendent du type de sol et des efforts transmis :

- la résistance aux efforts horizontaux et moment de renversement est fortement liée au diamètre et l'épaisseur de parois,
- la résistance verticale dépend du frottement mis en jeu dans l'interaction pieu-sol ainsi que la surface de la pointe du pieu.

Dans le domaine de l'éolien posé, on trouve couramment des fondations de type monopieu. Leur diamètre atteint actuellement 9 à 10 m pour des machines de 12 MW. Le faible rapport hauteur d'enfouissement/diamètre, qui est environ de 3, ne permet plus de jouer sur l'élasticité du pieu en flexion qui se comporte alors comme un pieu rigide. Or, il se trouve que ces pieux subissent essentiellement des efforts cycliques latéraux (poussée de l'éolienne, vagues, courant) pour lesquels ils doivent être correctement dimensionnés sans pouvoir soulager les contraintes par déformée axiale.

Les fondations de type jacket composées d'au moins 3 pieux enfoncés dans le sol marin et solidarités en tête par un structure treillis métallique sont aussi très courantes. Ces pieux sont soumis principalement aux efforts verticaux, la résistance latérales étant très grande car répartie sur l'ensemble des pieux.

Le coût de ces technologies est directement conditionné par la méthode d'installation qui se fait soit par battage, soit par forage puis remplissage de béton. En fonction de la dureté du sol, cette opération peut être compliquée, voire impossible.





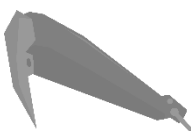

Ancre enfouies

Ces fondations sont utilisées uniquement pour les systèmes flottants. Dans le groupe des ancrs enfouies, on retrouve :

- les **ancres à trainée** qui sont les plus classiques, utilisées par dans le secteur maritime depuis toujours. Ces dernières résistent uniquement aux efforts horizontaux et ne supportent aucun effort vertical. Elles sont conçues pour s'enfoncer d'autant que la tension augmente mais nécessite des sols meubles à très meubles. Cela ne permet donc pas d'envisager de lignes d'ancrage tendues,
- les ancrs **à chargement vertical** sont dérivées des ancrs à trainée et adaptées pour supporter des tension avec des angles allant jusqu'à 30° par rapport à l'horizontal. Cela permet de s'adapter aux fortes variations d'angles des lignes d'ancrages rencontrées dans les eaux peu profondes comme sur les sites d'éolien flottant
- les ancrs **à succion** sont des pieux de faible élancement (hauteur d'enfoncement proche du diamètre) qui se comportent comme des pieux rigides. Leur capacité est augmentée en aspirant l'eau contenue dans les sédiments emprisonnés à l'intérieur. Ces ancrs supportent des chargements verticaux très importants et sont donc particulièrement adaptés aux lignes d'ancrage tendues. Elles ne sont utilisables qu'en milieu très meuble (vase, sable grossier, argiles). Lorsque le sol le permet, l'ancre à succion reste une solution très efficace et peu couteuse.

Le coût des ancrs enfouies réside surtout dans l'installation qui consiste à tensionner l'ancre à 80 % de sa charge ultime de résistance afin de l'enfoncer suffisamment dans le sol. Ces gammes de chargement nécessitent des remorqueurs très puissants et l'augmentation des puissances unitaires des turbines impliquent des gammes de chargement sur les ancrs qui peuvent nécessiter la construction de flotte de remorqueurs plus puissants qu'actuellement ou de méthodes alternatives d'installation.

En résumé

Technologie	Coût de fabricat°	Coût d'installat°	Procédure d'installat°	Avantages et limites
Ancre à traînée 	€	€€	😊😊😊	<ul style="list-style-type: none"> • Installation et démantèlement simples • Correction de la position possible • Plus adaptée à des sols cohésifs • Ne tolère pas la charge verticale
Ancre à succion 	€€€	€€	😊😊	<ul style="list-style-type: none"> • Tolère les charges horizontales et verticales • Installation et démantèlement simples • Faible impact sonore à l'installation • Très contrainte par la nature du sol • Coûts de construction et d'installation importants
Pieu dirigé 	€€	€€€	😊	<ul style="list-style-type: none"> • Accepte presque tous types de sols • Tolère les charges horizontales et verticales • Bruit à l'installation • Nécessité de données géotechniques fines • Récupération difficile au démantèlement
Ancre gravitaire 	€	€€	😊	<ul style="list-style-type: none"> • Tolère très bien les charges horizontales et verticales • Uniquement pour les sols moyens à durs • Masse et taille importantes • Récupération difficile au démantèlement
Ancre plate à succion 	€	€€	😊😊	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode de dimensionnement d'ancre plate standard • Cumul des avantages de l'ancre plate avec une résistance verticale • Positionnement précis de l'ancrage • Résistance à la traction doit être qualifiée
Ancre à pénétration dynamique 	€	€	😊😊😊	<ul style="list-style-type: none"> • Construction et installation simples et peu coûteuses • Positionnement précis de l'ancrage • Peu de retour d'expérience