
Un nouvel outil fond de trou nommé « Hydrofraise marine »

The « Hydrofraise marine », a new borehole bottom tool

Y. Legendre

Solmarine, Nanterre

Le rapport présente le nouvel outil « fond de trou » développé par Solmarine pour des ancrages de forte capacité à grande profondeur en mer. Cet appareil est dérivé de l'Hydrofraise, outil de forage hydraulique conçu par Solétanche, la Société mère de Solmarine. Il a été étudié pour la réalisation :

- *de piles de forte capacité nécessaires à l'ancrage de plate-formes à câbles tendus, d'ancrages funiculaires, de jackets, de systèmes de production « tout au fond »,*
 - *de murs de soutènement pour les excavations protégeant les têtes de puits en Arctique.*
-

The report considers the new borehole bottom tool invented by Solmarine for very deep high capacity sea anchorages. This equipment is derived from the hydrocutter, a hydraulic drilling tool designed by Solétanche, the parent company of Solmarine. It has been studied with a view to carrying out works involving the following :

- *high capacity piles required for the anchorage of tight cable platforms, fanicular anchorages, jackets, underground production systems.*
 - *breastwalls for excavations protecting pit-brows in the Arctic.*
-

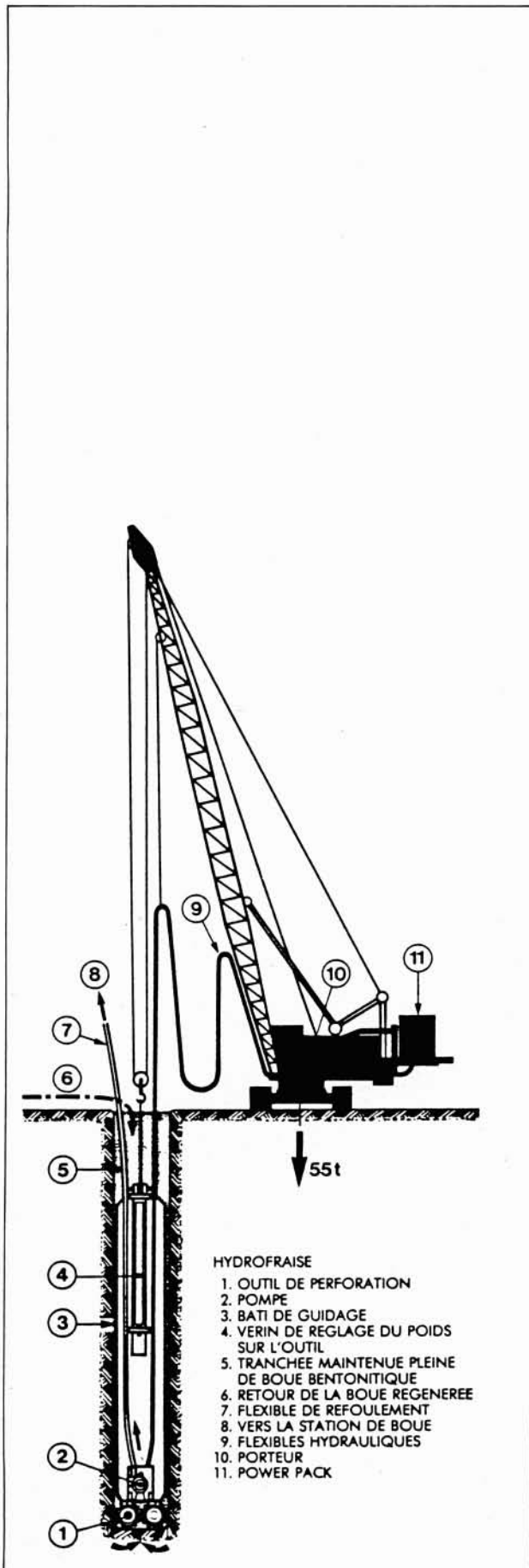
Présentation du projet

L'exploitation de gisements d'hydrocarbures à moyenne et grande profondeur fera appel de plus en plus à des systèmes de production qui nécessiteront des points d'ancrage de forte capacité.

L'objet de ce projet est la conception et la réalisation d'une foreuse sous-marine (Hydrofraise marine) pour l'exécution de tels points d'ancrage capables de reprendre des efforts verticaux de l'ordre de 2000 tonnes et/ou des efforts horizontaux de près de 1000 tonnes.

Cette foreuse est opérée à partir de support de forage classique, avec ou sans positionnement dynamique, ou de semi-submersible, dans des profondeurs d'eau de plusieurs centaines de mètres.

L'Hydrofraise marine est dérivée de l'Hydrofraise conçue et mise au point par le groupe Solétanche. Cet outillage de perforation réalise depuis 10 ans à terre, des forages rectangulaires de grande section et d'une profondeur allant jusqu'à 100 mètres dans le terrain.



Contraintes liées au forage classique en mer

Le forage en rotation, de gros diamètre, par des tranches d'eau importantes, avec le matériel existant, pose des problèmes techniques difficiles à résoudre :

- *en circulation directe* la vitesse de remontée des déblais devient critique au-delà d'un diamètre de 40'';
- *en circulation inverse*, par air lift, il faut des tiges spéciales d'un diamètre important, très encombrantes, fragiles et onéreuses;
- *Le couple*, pour entraîner l'outil en rotation, devient vite très grand;
- *le poids*, appliqué sur l'outil, est une fonction croissante du diamètre de forage;
- *le tubage à l'avancement*, des terrains de surface, est difficile à réaliser avec cette méthode.

Forage à l'Hydrofraise à terre

Principe de fonctionnement

L'hydrofraise est un outil de forage circulation inverse animé par trois moteurs « fond de trou ».

Un bâti métallique porte à sa base deux tambours munis de pics qui désagrègent le terrain.

Une pompe située au-dessus des tambours assure l'évacuation des déblais de forage en circulation inverse. La boue chargée est filtrée en permanence puis alimente la saignée en surface. Une grue sur chenilles porte et manipule le bâti. Elle supporte la centrale hydraulique qui, par flexibles, alimente les trois moteurs fond de trou : les deux moteurs entraînant les tambours et celui de la pompe.

L'ensemble est conçu pour assurer aux tambours à pics des couples élevés à faible vitesse de rotation.

La liaison entre le bâti et le câble porteur est un vérin dont le fonctionnement peut être asservi : soit pour une vitesse d'avancement constante, soit pour un poids sur les pics constant (le maximum étant le poids du bâti : 16 à 20 tonnes).

Avantages et emplois

La conception permet de réaliser des forages de section rectangulaire dans une vaste gamme de terrains : depuis les sols pulvérulents (éléments tels que galets < 100 mm) jusqu'aux roches dures (500 à 1000 bars de résistance à la compression simple).

Les rendements varient en sens inverse de la dureté : de plus de 20 à 1 m²/heure des graviers au calcaire par exemple. Les hors profils sont faibles (10 % environ), la verticalité bonne (0,3 % à 30 m de profondeur).

Les équipements standards correspondent à plusieurs largeurs courantes de forage pour des profondeurs usuelles inférieures à 60 in. Une version spéciale Japon permet d'atteindre 100 m de profondeur.

Caractéristiques mécaniques

Profondeur de perforation standard	30 m
Profondeur de perforation maxi	100 m
Vitesse de rotation de l'outil	10-20 tr/mn
Diamètre de la fraise.....	1 200 mm
Couple fraise maxi à 300 bars.....	3 800 m.kg
Puissance moteur de rotation.....	80 kW (110 CV)
Débit pompe de circulation	300 m ³ /h
Pression maxi de refoulement	2.6 bars
Poids outil complet	16 à 20 t
Centrale hydraulique, puissance à 1 800 tr/mn	270 kW (365 CV)

Equipements standards

Largeur du forage = 2,40 m
 Epaisseurs de forage = 0,60 m/0,80 m/1,20 m/1,50 m
 Longueur hors tout = 15,00 m

L'Hydrofraise, telle que décrite précédemment, n'est pas pénalisée par les contraintes liées au forage classique en mer : d'où l'idée de l'utiliser dans ce domaine, moyennant les adaptations nécessaires.

Application en mer : Le nouvel outil fond de trou « Hydrofraise marine »

L'Hydrofraise marine répond parfaitement aux problèmes techniques énoncés plus haut. Son principe de base (fondé sur celui d'une haveuse) permet d'assurer efficacement les fonctions suivantes :

- refoulement des déblais par une pompe immergée.
- élimination du problème du couple sur l'outil.
- possibilité d'avoir peu de poids sur l'outil.
- emploi d'un casing de revêtement pour les terrains de couverture.

L'Hydrofraise marine doit être capable de :

- travailler à plus de 500 m sous l'eau;
- perforer sur 50 à 100 m de profondeur dans le sol;
- être pilotée à partir du navire;
- équiper le forage (descente de l'armature et cimentation).

Ces objectifs nous ont conduits à analyser les méthodes de travail possibles, mais aussi la composition de l'équipement dans son ensemble : support de surface, liaison surface/Hydrofraise marine, configuration de l'Hydrofraise marine.

Support de surface

La méthode de travail a été établie en fonction de divers supports flottants : / navires à positionnement dynamique, / semi-submersibles, / navires de service type plongée.

L'objectif est de rendre la machine opérationnelle sur des navires peu chers, facilement disponibles. L'utilisation

de navires de service type plongée équipés d'une grue de 150 t à 200 t et d'un puits central serait la bonne solution. Cependant, certains équipements complémentaires seraient nécessaires, mais ils ne seraient pas attachés à l'Hydrofraise marine.

Liaison surface/Hydrofraise marine

Afin de s'affranchir des problèmes posés par une liaison par câble, nous avons préféré une liaison par tiges; en voici les raisons essentielles :

- technique plus simple et moins chère;
- maintenance plus facile;
- positionnement et orientation au fond plus facile;
- les liaisons commandes et contrôles seront faites par multiplexage entre l'Hydrofraise marine et le poste de commande;
- les liaisons de positionnement seront de type acoustique pour les opérations de localisation, et de type télévisuel pour les opérations de rentrée.

Toutes ces liaisons seront regroupées et logées dans un fourreau de protection solidaire du train de tiges.

Configuration de l'Hydrofraise marine

Un casing de revêtement permet d'assurer la stabilité des terrains de surface dès le début du forage. La foreuse Hydrofraise marine est constituée des éléments suivants :

Eléments immergés

- 1 casing, équipé d'une plaque de base et d'un cône de rentrée, est mis en place jusqu'à la cote prévue.
- 1 guillotine hydroélectrique de blocage des tiges, fixée sur le cône de rentrée.
- 1 bâti de guidage, contenant les éléments ci-après, est équipé de vérins hydrauliques latéraux qui permettent la tenue du casing pendant la descente au fond et le forage de surface.
 - 2 moteurs hydrauliques pour les tambours;
 - 1 moteur hydraulique pour la pompe à déblais;
 - 1 pompe à déblais;
 - 1 vérin d'avance hydraulique opéré depuis la surface;
 - 1 conduite de refoulement rejetant les déblais en fond de mer;
 - 1 conduite de boue permettant le remplissage du forage en boue;
 - 1 système d'équilibrage des pressions hydrauliques;
 - 1 série d'appareils de mesure permettant de contrôler, en permanence, le comportement de l'Hydrofraise marine pendant la perforation : 2 inclinomètres XX'-YY' pour suivre les variations de verticalité du forage, 1 gyroscope XY permettant la bonne orientation de l'Hydrofraise marine, 1 densimètre monté sur la conduite de refoulement de la pompe à déblais, 1 module multiplex pour les commandes et les contrôles;
 - toutes les lignes électriques des appareils de mesure et les lignes hydrauliques.

Eléments en surface

- 1 centrale hydraulique entraînée par un moteur thermique,

- 1 dispositif d'enrouleur pour les lignes électriques et hydrauliques sur l'appareil de manutention,
- 1 pupitre de commandes et contrôles.

Problèmes rencontrés — Solutions apportées

Pour un tel projet, les problèmes rencontrés sont de 2 ordres : techniques et économiques.

Dans les *problèmes techniques*, un grand nombre sont classiques et communs à tous les projets. D'autres sont plus spécifiques et aussi beaucoup plus cruciaux. Ils concernent les limites techniques : en particulier, pour ce projet, il y a 2 gros problèmes à résoudre conduisant à plusieurs options :

- localisation de l'énergie et son type;
- protection de l'outil fond de trou dans les terrains de couverture.

La localisation de l'énergie se résume en deux grandes options :

- installation d'une centrale électro-hydraulique au fond;
- installation d'une centrale hydraulique thermique ou électrique en surface.

Compte tenu des diverses limites technologiques rencontrées dans la solution tout au fond, nous avons opté

pour le tout en surface qui est moins cher et plus fiable mécaniquement.

La protection de l'outil fond de trou présente plusieurs options elle-aussi :

- aucune protection;
- utilisation de la boue de forage;
- utilisation d'un casing de revêtement.

La première option est à rejeter car elle est trop risquée dès que les couches de surface sont très molles ou pulvérulentes sans aucune cohésion.

La deuxième option devient impossible, compte tenu des dimensions de la machine et de la circulation inverse qui conduit à mettre en place avant forage un système prolongateur jusqu'à la surface.

Nous avons donc imaginé la mise en place d'un tube de revêtement. Ce tube sera de longueur adéquate en fonction des terrains de surface.

Pour ce qui concerne les *problèmes économiques*, ils se situent au niveau de la tenue des objectifs planning et financiers.

Ces objectifs ont été faits sur une conception initiale qui laisse toujours une grande part de flou au niveau technique. Cependant, il est nécessaire au fur et à mesure de l'avancement de l'étude de détails de cadrer au plus près avec cette estimation.

Il est clair que toute solution technique simple permet d'alléger les coûts d'étude et, par la suite, de construction, ce qui doit rester un souci constant pour le Chef de Projet.

Conclusion

Cette étude d'une nouvelle machine représente une belle aventure technique et sa construction doit se poursuivre dans les mois qui viennent, avec pour objectif un essai sous un an à un an et demi.

Mais l'aventure ne s'arrête pas là et plutôt elle ne fait que commencer, car il y a l'aspect commercial qui devient aussi très important. Cette machine doit être présentée aux clients potentiels pour leur en montrer l'intérêt dans leurs futurs projets de fondations en mer. Cette tâche n'est pas simple. Pour les opérateurs pétroliers, la fondation est une part très faible d'un projet de plate-forme et ils ne s'y consacrent qu'au dernier moment malgré son importance.

Cependant, le développement des champs en mer profonde conduit les pétroliers à s'adresser aux spécialistes dans tous les domaines et, en particulier, dans celui des fondations, ce qui peut être la grande chance de sociétés telle que la nôtre.

Thème 1

Fondations et ancrages en sols marin et côtier

Conclusion

M. COUPRIE. — Je vais tirer des conclusions très rapidement.

Je pense que les hydrauliciens ont entendu des mots connus comme le mot rugosité et qu'ils se sont dits qu'en matière d'interaction sol-structures, les mécaniciens du sol étaient en train d'inventer la notion de couche limite et qu'ils ne connaissaient pas encore le mot. Je pense que l'on y viendra.

Vous avez entendu les mots de « contractant », « dilatant », pour les gens de l'hydraulique maritime l'eau est plutôt un fluide incompressible. Vous avez vu les conséquences de la contractance dans les sols carbonatés. Je pense que M. Foray devrait compléter ses diagrammes avec ces notions de contractance et de dilatation.

Parmi les problèmes non résolus, il y a un problème des actions cycliques. La houle est un phénomène aléatoire avec combinaison d'effets de charge.

Quand le cycle n'est pas sinusoïdal, la loi de Palmgreen-Miner des essais de fluage est tout à fait impropre à traduire l'effet cumulé dans des processus non linéaires tels que ceux rencontrés ici, avec des phénomènes d'hystérésis positifs ou négatifs.

M. Le Tirant a signalé que si la pression interstitielle monte, c'est-à-dire que le sol perd ses propriétés au cours d'un chargement, il y a une phase de régénération; si on le laisse tranquille un temps suffisant ces pressions vont se dissiper et l'on va trouver, à la fin du compte, un sol meilleur qu'au départ.

C'est vous dire que je pense que là il y a un problème de méthodologie très générale que je rencontre dans de très nombreux domaines, qui est le problème de la généralisation de la loi de Palmgreen-Miner, c'est-à-dire que l'on n'a pas le droit d'ajouter des cycles sans tenir compte des phénomènes d'agrégation de chocs non linéaires. Je pense que c'est un point extrêmement important.

Il a été évoqué l'emploi des méthodes probabilistes pour décrire des ensembles de données aussi variables que les caractéristiques de sol. En hydraulique on n'a pas ce problème, car les fluides tendent à être homogènes. Lorsqu'ils ne sont pas homogènes, ils sont relativement stratifiés. Le problème de la description des ensembles de grains pose question. Le même problème se pose dans le domaine des mines. La géostatistique appliquée étant utilisée par les mineurs pour caractériser des gisements, la méthode n'est pas encore employée en géotechnique mais, à mon avis, elle le sera dans les années prochaines.

Je terminerai par une remarque également d'ordre général qui reprendra des propos tenus par M. Le Tirant qui nous a dit qu'il fallait donner des consignes au projeteur. Voyez que toute la recherche qui est en cours autour des pieux a comme objectif non pas de définir une réglementation, le mot serait impropre, mais des règles de dimensionnement, autrement dit de passer d'une science à une sorte de code de construction, de code de « bonne conduite ». Vous avez vu que cela s'opérait au sein de l'ARGEMA qui est distincte des donneurs d'ordre. Je pense que c'est une circonstance que l'on rencontre de plus en plus. La prise en compte des données scientifiques dans toute leur complexité, dans un domaine technique, ne peut plus se faire à l'occasion d'un seul ouvrage, il faut la faire d'une façon générale dans un mouvement constant d'approfondissement des connaissances, en vue, bien sûr, d'une action précise et positive pour un bon dimensionnement. Mais le lieu, au sens philosophique du terme, où cet effort peut se mener n'est pas bien caractérisé. Il n'existait rien, lorsque j'ai commencé ma carrière, où l'on aurait pu situer ces choses. Ce n'est pas non plus dans les Universités, dans un centre de recherche, parce que c'est plus général. Ma conclusion serait de dire qu'une association comme l'ARGEMA est, à mon avis, une bonne image du type des nouveaux organismes qui, seuls, peuvent faire face à ce challenge et peuvent faire l'interface entre la science pour la science et la pratique.

Au travers de tous ces exposés, pour ce qui touche aux digues, vous avez vu qu'il y avait des problèmes majeurs en voie de solution mais qui ne sont pas résolus. Je pense que dans d'autres domaines des approches semblables peuvent être faites. Je crois tout de même que nous devons beaucoup, tout au moins en France, à l'ARGEMA pour tout cet effort. Je dois dire, M. Le Tirant dut-il en rougir un peu, que nos essais en France dans les faluns ont préfiguré les essais faits par le monde anglo-saxon sur les sites tropicaux. Nous avons la chance, en France, d'avoir de tels sites fossiles. Nous les avons étudiés. Ce qui a été publié par les français dans le domaine des sols carbonatés, c'est ce qui est le premier en date et le plus précis. Actuellement on peut dire que la France, bien que n'étant pas un pays tropical, est à peu près à la tête dans ce domaine. Ceci nous le devons, je crois, au système d'organisation qui a prévalu dans ce type de recherche et ce que je souhaite c'est que cela serve d'exemple dans d'autres domaines pour montrer que lorsque des gens ont voulu quelque chose, ils l'ont obtenu.
