

Mise en place des pieux en mer

P. Le Tirant

Direction de Recherche

«Génie maritime pétrolier»

Institut Français du Pétrole

Introduction

La mise en place de pieux en mer s'effectue selon des techniques très différentes: battage, forage, battage et forage, vibrofonçage, suivant les caractéristiques des terrains rencontrés, les dimensions des pieux, les profondeurs d'eau concernées. Mais si la technologie de mise en place des pieux est en général bien maîtrisée, des problèmes particuliers se posent suivant:

- les profondeurs d'eau: marteau de battage aérien ou sous-marin, plus ou moins adapté;
- le guidage ou non des pieux en cours de battage: mise en place de pieux de fixation de plates-formes treillis ou réalisation de pieux d'ancrage;
- les diamètres de forage nécessaires pour la mise en place des pieux ou des tubes conducteurs de puits (de pétrole, de gaz...)

Sans vouloir rappeler en détail la technologie de mise en place des pieux en mer, on décrit certains procédés utilisés, illustrés par des réalisations récentes. A cet effet, il apparaît utile de distinguer la mise en place:

- des pieux de fixation des plates-formes treillis;
- des pieux d'ancrage;
- des tubes conducteurs.

1. - Pieux de fixation des plates-formes treillis

Suivant la méthode de mise en place et leur liaison avec la structure «treillis» (ou «jacket») on distingue divers types de pieux de fixation d'une plate-forme [1], [2]:

- le pieu «classique» est mis en place par battage à travers une jambe du treillis et fixé par soudure à la partie supérieure de celle-ci (fig. 1 a);
- l'«insert-pile» prolonge dans le sol un pieu battu au refus dont la capacité portante est insuffisante: le forage à l'intérieur du pieu battu, à une profondeur supérieure, permet de descendre un pieu de diamètre légèrement inférieur, la liaison entre le pieu battu et le pieu cimenté s'effectuant par cimentation (fig. 1 b);

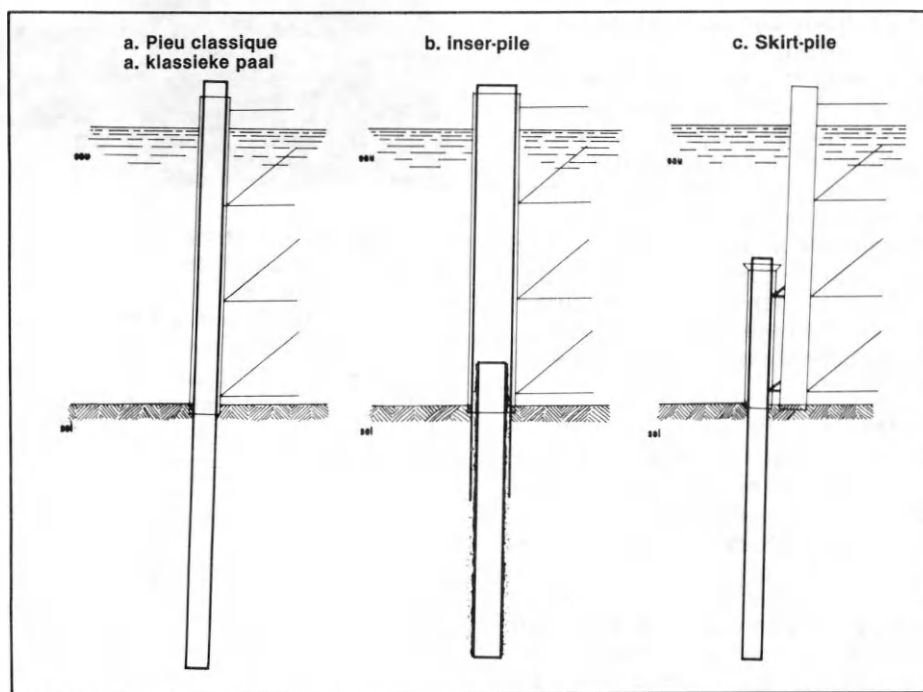


fig. 1 - Pieux de fixation des plates-formes treillis (jacket)

fig. 1 - Bevestigingspalen der vakwerkplatformen (jacket)

- le «skirt-pile» passe à travers une chemise liée au treillis, la liaison s'effectuant par cimentation (fig. 1 c);
- les pieux groupés autour d'une jambe (assimilables à des «skirt-piles») (fig. 2) et reliés par cimentation constituent les fondations de certaines plates-formes treillis installées notamment en Mer du Nord.

Les dimensions des pieux de fixation des plates-formes varient considérablement suivant l'importance des efforts à reprendre et les caractéristiques des sols rencontrés:

- le diamètre fréquemment compris entre 1,20 et 1,50 mètre atteint 2,14 mètre et même 2,40 mètre dans le cas de structures installées récemment dans le Golfe du Mexique où les sols sont souvent médiocres;
- la fiche varie de 40-50 mètres au minimum à plus de 150 mètres pour certaines installations;
- l'épaisseur est comprise le plus souvent entre 2,5 et 5 cm.

1.1. - Pieux battus pour la fixation des plates-formes

Le gain de temps très important pour

la mise en place des pieux par battage, par rapport au forage a favorisé le développement de marteaux de plus en plus puissants, les énergies maximales des marteaux disponibles s'étendant de 10-20 t x m à près de 200 t x m avec certains marteaux hydrauliques récents (fig. 3) [3].

Bien que la grande majorité des structures soit encore installée par moins de 100 mètres d'eau (85 % environ pour la période 1980-1985), les profondeurs d'eau concernées atteignent couramment 150-200 mètres et dépassent même 300 mètres dans le Golfe du Mexique dans le cas de certaines installations récentes ou en projet. Cependant les types de fondations réalisées diffèrent surtout suivant les conditions d'environnement (océanographie et caractéristiques des terrains).

Mais qu'il s'agisse de pieux «classiques», de «skirt-piles» ou de groupes de pieux, la particularité essentielle du battage réside en l'emploi d'un marteau «aérien» ou «sous-marin» (développé depuis seulement quelques années pour des profondeurs d'eau de l'ordre de 300 à 400 mètres au maximum). Dans tous les cas, la

Inplanten van palen in zee

P. Le Tirant

Bestuurder van de Opzoekingen

«Genie Maritime Pétrolier»

Institut Français du Pétrole.

Inleiding

Het inplanten van palen in zee gebeurt volgens zeer verschillende technieken: inheien, boren, heien en boren, indrijven door trillen, volgens de aard van de plaatselijke bodem, de afmetingen der palen, de te overwinnen waterdiepte. Maar indien men de technologie van het inplanten goed meester is, ontmoet men niettemin bijzondere problemen naar gelang:

- de waterdiepte: heihamer in de vrije lucht of onder zee, met min of meer rechtstreekse werking;
- het al of niet geleiden der palen tijdens het inheien: inplanten van de bevestigingspalen van vakwerk-platformen of verwezenlijken van ankerpalen;
- de boordiameters die vereist zijn voor het inplanten van palen of van de geleidepijpen van boorputten (voor petroleum, gas, ...).

Zonder aan alle bijzonderheden der technieken van het inplanten der palen in zee te willen herinneren, worden hier sommige werkmethodes beschreven, die aan de hand van recente toepassingen worden toegelicht. Hierbij blijkt het nuttig onderscheid te maken tussen het inplanten van

- de bevestigingspalen van vakwerk-platformen;
- verankeringspalen;
- geleidepijpen.

1. - Bevestigingspalen van vakwerk-platformen.

Aan de hand van de methode gebruikt voor het inplanten en van de verbinding met het vakwerk-structuur (of «jacket») kan men verschillende types van bevestigingspalen van een platform onderscheiden [1], [2]:

- de «klassieke» paal wordt ingeplant door hem in te heien in de holte van de poort van het vakwerk en hij wordt door lassen aan het bovendinde van de poort bevestigd (fig. 1 a);
- de «insert pile» verlengt in de bodem een op stuit geheide paal waarvan het draagvermogen onvoldoende is; door in de holte van de paal tot een grotere diepte te boren is men in staat een paal van iets wat kleinere diameter te laten afzinken,

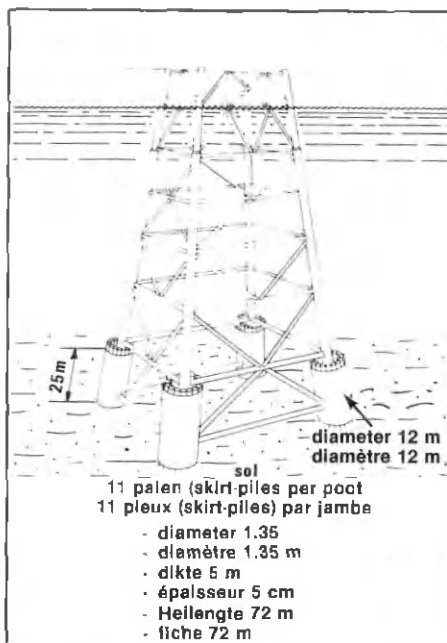
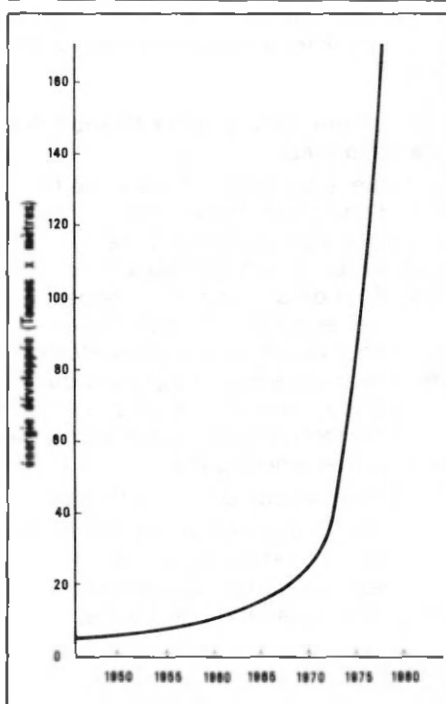


fig. 2 - Vakwerk-platform bevestigd door groepen van palen.

fig. 2 - Plate-forme treillis fixée par des groupes de pieux.

fig. - Evolutie van het door de heilhamers ontwikkeld vermogen (ton X meter)

fig. 3 - Evolution de l'énergie développée par les marteaux de battage.



waarbij de verbinding tussen de geheide paal en de diepere paal door inkleving wordt verwezenlijkt (fig. 1 b) (*)

- de «skirt pile» wordt ingeschoven door een huls die aan het vakwerk is verbonden, en de vasthechting gebeurt door inkleving (fig. 1 c);
- palen gerangschikt rondom een poort (en die de zelfde functie vervullen als skirt-piles) (fig. 2), en die door kleving verbonden worden, vormen de fundering van sommige vakwerk-platformen die o.m. in de Noordzee geplaatst werden.

De afmetingen der palen tot bevestiging der platformen zijn zeer verschillend naar gelang de op te nemen krachten groter of kleiner zijn en in verband met de aard van de bodem die men ontmoet:

- de diameter, die dikwijls tussen 1,20 en 1,50 m begrepen is bereikt 2,14 m en zelfs 2,40 m voor onlangs in de golf van Mexico geplaatste bouwwerken wegens de slechte aard van de bodem;
- de inheillengte ligt tussen een minimum van 40-50 meter tot 150 meter voor sommige installaties;
- de plaat dikte is algemeen begrepen tussen 2,5 en 5 cm.

1.1. - Ingeheide palen voor de bevestiging der platformen.

De belangrijke tijdswinst die men bekomt door de palen door inheien in te planten, liever dan door boring, heeft de ontwikkeling bevorderd van meer en meer sterkere heilhamers, waar men kan kiezen vanaf hamers van 10-20 t X m tot bijna 200 t X m voor sommige recente hydraulische hamers (fig. 3) [3].

Alhoewel het grootste deel der platformen nog bij min dan 100 m water-

(*) Nota van de vertaler: de Franse schrijver gebruikt hier een aan het Engels ontleend woord «cimentation». In het Engels heeft «cementation» in de eerste plaats betrekking op het invoeren van een kleefstof, die slechts in beperkte gevallen uit gewone cement is samengesteld. Bij gebrek aan gegevens over de in voorliggend geval gebruikte stof werd het Franse «cimentation» door «inkleving» vertaald, hetgeen niet uitsluit dat in de beschreven gevallen een mengsel op basis van cement kan gebruikt zijn.

mise en place du pieu est guidée par la structure.

1.1.1. - Dans le cas de pieux « classiques », battus à travers les jambes du treillis (« jacket »), le battage s'effectue toujours au moyen de marteaux « aériens » de différents types : à vapeur (à simple ou à double effet), diesel, hydraulique.

Les pieux transportés par tronçons sur le site, au moyen d'un navire ravitailleur, sont introduits et descendus dans les jambes, les manutentions du pieu et du marteau s'opérant à l'aide de la grue de la barge de pose. Les opérations de raboutage des tronçons par soudure et de battage sont conduites alternativement sur deux (ou plusieurs) pieux.

La durée totale des opérations, fonction des dimensions des pieux, est de l'ordre de 30-40 heures par pieu :

- la durée du battage proprement dit ne représente qu'une faible fraction du temps total ;
- la durée des soudures en constitue, par contre, une part très importante.

Le battage des pieux par tronçons successifs pose des problèmes fonction de la nature des terrains :

- accroissement souvent très significatif de l'énergie de battage nécessaire après une interruption de quelques heures ou plus (pour la soudure par exemple) du fait de la « reconsolidation » des argiles notamment. Ce phénomène conditionne le choix des dimensions du marteau ;

- « chute libre » parfois importante (quelques mètres ou plus) du pieu dans les sols carbonatés, ce qui oblige à retenir le pieu en cours de battage.

1.1.2. - Dans le cas de pieux ne remontant pas en surface (« skirt-piles », groupes de pieux autour d'une jambe), le battage des pieux préalablement constitués s'effectue :

- soit depuis la surface au moyen d'un marteau « aérien » par l'intermédiaire d'une « rallonge », reliée au pieu par un connecteur déverrouillable à distance ou par un simple connecteur à gravité ;
- soit à l'aide d'un marteau hydraulique « sous-marin » (Hydroblok, Menck) directement posé sur le pieu, ce qui présente l'avantage d'améliorer le rendement (fig. 4).

1.1.3. - Dans le cas particulier de la plate-forme « Cognac » dans le Golfe du Mexique, mise en place (en 1978) en trois modules, par 310 mètres d'eau, le premier module a été fixé par 24 pieux de 2,14 mètres de diamètre et de 145 mètres de fiche au moyen d'un marteau hydraulique sous-marin développant une énergie

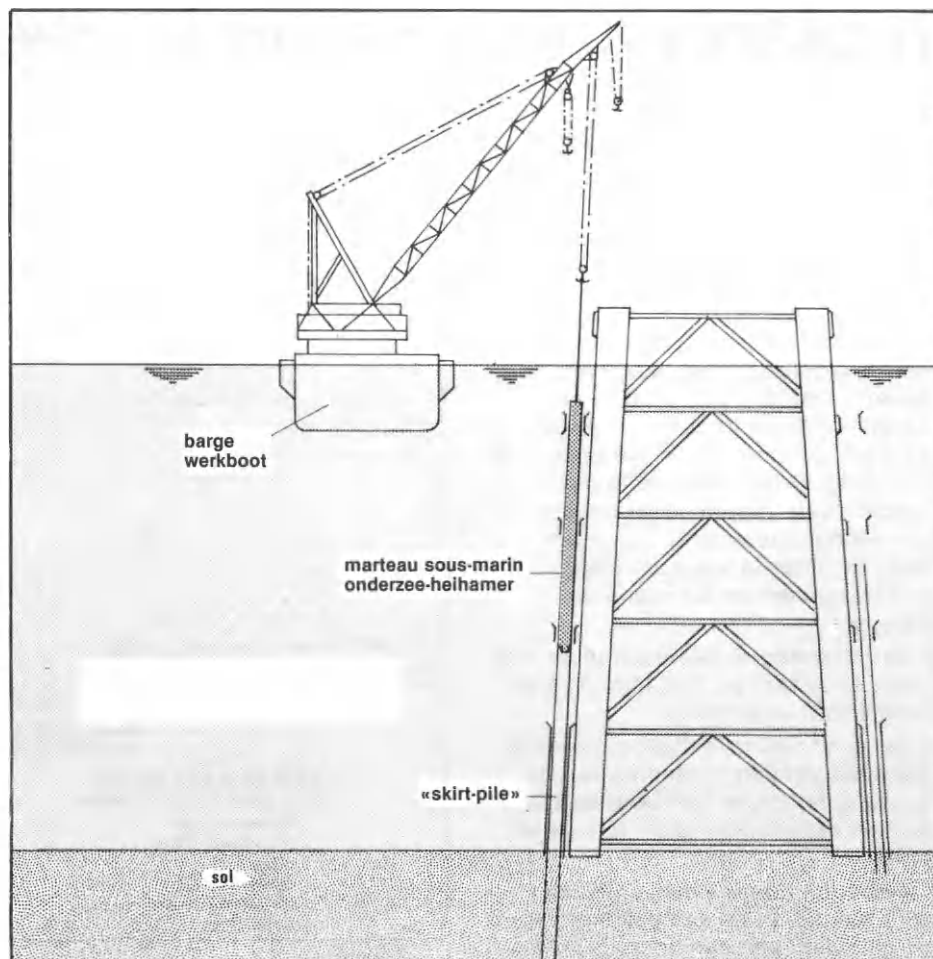


fig. 4 - Battage de pieu (« skirt-pile ») de fixation de plate-forme treillis, au moyen d'un marteau sous-marin.

fig. 4 - Inheien van een bevestigingspaal (skirt-pile) voor de bevestiging van een vakwerk-platform bij middel van een onderzeeheihamer.

maximale de 110 tonnes x mètres [4]. Les pieux et le marteau sont descendus séparément en raison de leur poids (respectivement environ 300 tonnes et 146 tonnes), les opérations de descente et de mise en place étant guidées par télévision et sonar (fig. 5).

1.2. - Pieux forés pour la fixation des plates-formes

Lorsque le battage des pieux de fixation d'une plate-forme n'est pas (ou plus) possible du fait de la résistance trop élevée du sol par rapport au marteau dont on dispose, il est nécessaire de recourir au forage. Cependant pour éviter les pertes de fluide de forage et l'endommagement du sol en surface, on s'efforce presque toujours de forer à travers un élément de pieu partiellement battu.

La réalisation du forage s'effectue :

- soit par la disposition du mât et de la table de rotation sur le treillis (« jacket »), la barge de pose portant le reste de l'installation de forage ;
- soit par l'aménagement d'un pont provisoire sur le treillis, portant l'ensemble de l'installation de forage.

1.2.1. - Le forage à travers le pieu battu en surface est effectué (fig. 6) :

- soit à un diamètre légèrement inférieur à celui du pieu central qui sera battu une fois le forage terminé ;
- soit à un diamètre légèrement supérieur à celui du pieu central qui sera ensuite descendu, puis scellé au sol et au pieu battu par cimentation. C'est la technique de « l'insert-pile », la plus couramment utilisée pour la réalisation de pieux forés, bien que la durée des opérations soit toujours très importante (de l'ordre de 4 à 5 jours par pieu, au lieu de 30-40 heures pour le battage).

Dans le cas de sols carbonatés, la qualité de la cimentation nécessaire oblige pratiquement à forer à l'eau : par forage à la boue, la résistance au frottement latéral sol-ciment-pieu est réduite considérablement (de cinq à dix fois).

1.2.2. - La technique de l'élargissement du forage jusqu'à 3 à 5 mètres à la partie inférieure (fig. 7), surtout réalisée dans des sols durs (calcaire corallien du Golfe Persique, sable compact de Mer du Nord), permet de

diepte geïnstalleerd is - 80% ongeveer voor de periode 1980-1985 - bereiken de te overwinnen waterdiepten dikwijls 150-200 meter en gaat men tot meer dan 300 meter diep in de Golf van Mexiko voor enkele recente of nog in ontwerp zijnde installaties. Nochtans verschillen de verwezenlijkte funderingen qua type vooral volgens de voorwaarden der omgeving (oceanografie en aard van de bodem).

Maar of men nu te doen heeft met «klassieke» palen, met «Skirt-piles» of met groepen van palen, de kenmerkende eigenschap van het heiwerk ligt bij het gebruik van een «open-lucht» of een «onderwater» heihamer (deze slechts tijdens de laatste jaren op punt gesteld voor waterdiepten van maximum 300 tot 400 meter). In elk geval, wordt het ter plaatse brengen van de paal geleid door de structurele onderdelen van het platform.

1.1.1. - In het geval van «klassieke» heipalen, geheel langsdor de poten van het vakwerk («jacket»), gebeurt het inheien altijd met «vrije-lucht»-hamers van verschillende types: met stoom (enkel- of dubbelwerkend), diesel, hydraulisch.

De palen, in handelbare stukken ter plaatse gebracht door het ravitaillevaartuig, worden in de poten van het platform ingeschoven en naar beneden afgelaten, waarbij het behandelen van de paal en van de heihamer bij middel van de kraan van de werkboot gebeurt.

Het aaneen zetten door lassing der stukken en het heiwerk wordt beurteelings aan twee (of meerdere) poten uitgevoerd.

De totale duur van de bewerkingen, afhankelijk van de afmetingen der palen, is van de orde van 30-40 uren per paal:

- de duur van het eigenlijke heiwerk neemt slechts een gering deel van de totale tijdsduur in beslag;
- de duur van de laswerken vergt daarentegen een belangrijk deel van de tijd.

Het heien van palen in achtereenvolgende stukken is een bron van bijzondere moeilijkheden in verband met de aard van de bodem:

- aanzienlijke aangroei van het voor het heiwerk nodige vermogen na een onderbreking van enkele uren of langer (voor het laswerk bv.) ten gevolge van het verdichten van de klei, o.m. Dit verschijnsel is bindend voor de keuze van de afmetingen van de heihamer;
- soms belangrijke «vrije doorval» (enkele meter of meer) in gecalcificeerde bodems, hetgeen het naar

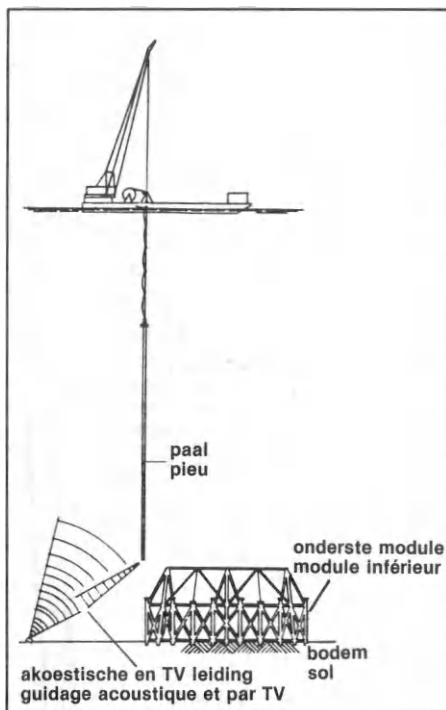


fig. 5 - Ter plaatse brengen van een paal vóór het inheien, voor de bevestiging van het «Cognac»-platform in de Golf van Mexiko (volgens J.W. Jansz)

fig. 5 - Mise en place de pieu avant battage, pour la fixation de la plate-forme de «Cognac» dans le Golfe du Mexique (d'après J.W. Jansz)

boven vasthouden van de paal tijdens het heiwerk vergt.

1.1.2. - Voor het geval van palen die niet tot boven water reiken («skirt-pile»), groepen van palen rond een poot) wordt het heien van de vooraf op lengte gemonteerde paal uitgevoerd:

- hetzij vanaf het oppervlak bij middel van een «open-lucht»-hamer met een verlengstuk, dat aan de paal verbonden is door een van op afstand ontgrendelbaar aansluitstuk of door een door de zwaartekracht werkende koppeling;
- hetzij door een «onder-water»-hydraulische heihamer (Hydroklok, Menck) die rechtstreeks op de paal rust, met als voordeel een beter rendement (fig. 4).

1.1.3. - In het bijzonder geval van het «Cognac»-platform in de Golf van Mexiko, (in 1978) geplaatst in drie modulaire onderdelen, bij 310 meter waterdiepte, werd het eerste module vastgezet bij middel van 24 palen met 2,14 m diameter en 145 meter heilengte bij middel van een hydraulische onderwater-heihamer met een maximum ontwikkeld vermogen van 110 ton x meter [4]. De palen en de hamer worden elk afzonderlijk naar beneden gelaten wegens hun groot gewicht (respect. circa 300 en 146

ton), waarbij de bewerkingen van naar beneden laten en in juiste positie brengen door televisie en sonar worden geleid (fig. 5).

1.2. - Geboorde palen voor de bevestiging der platformen.

Als het heien der bevestigingspalen van een platformen niet (of niet meer) mogelijk is, wegens de te grote weerstand van de bodem tegenover de beschikbare heihamer, moet men tot boren zijn toevlucht nemen. Om nochtans het verlies van boordvloeistof en het beschadigen van de oppervlakte van de bodem te beletten doet men alle moeite om te boren langsdor een geheel paalelement.

Het boren gebeurt als volgt:

- hetzij is de boormast en de draaitafel op het vakwerk («jacket») geplaatst, en de werkboot draagt het overschot van de boorinstallatie;
- ofwel wordt op het vakwerk een voorlopig werkdek gebouwd, dat gans de boorinstallatie draagt.

1.2.1. - het boren van een tot boven water geheide paal gebeurt (fig. 6):

- hetzij met een diameter die een weinig kleiner is dan de middenpaal die zal geheel worden na voltooiing van het boorwerk;
- hetzij met een diameter die een weinig groter is dan de middenpaal, die daarna wordt naar beneden gelaten, en daarna aan de bodem en de geheide paal bevestigd wordt door kleving. Dit is de zg. «insert-pile»-techniek, die de meest gebruikte is voor geboorde palen, alhoewel de duur der bewerking altijd zeer groot is (van de orde van 4 tot 5 dagen per paal, in plaats van 30-40 uren voor heiwerk).

In het geval van gecalcificeerde bodems moet men, om een behoorlijke kleving te bekomen, praktisch altijd met water boren: als men met slib boort, is de zijdelingse schuifweerstand bodem-kleefmiddel-paal aanzienlijk verminderd (van vijf tot tien maal).

1.2.2. - De techniek waarbij het boorgat aan de onderzijde tot op 3 à 5 meter diameter wordt vergroot (fig. 7), hetgeen vooral bij harde bodems gebeurt (koraalhoudende kalksteen van de Perzische Golf, dicht gepakt zand in de Noordzee), laat toe de vereiste funderingsdiepte aanzienlijk te beperken. Men kan echter aan de goede hoedanigheid van de inkleving twijfelen wegens de moeilijkheden die het verplaatsen van aanzienlijke hoeveelheden slib met zich brengt.

2. Verankeringspalen.

De in de zeebodem geplaatste ver-

réduire, de manière très importante, la profondeur des fondations nécessaires. On peut cependant douter de la qualité de la cimentation du fait des difficultés de déplacement de quantités importantes de boue.

2. - Pieux d'ancrage

Les pieux d'ancrage réalisés au fond de la mer doivent répondre à des fonctions très diverses, les dimensions variant considérablement suivant la direction et l'intensité des efforts, la nature et les caractéristiques des terrains rencontrés. On distinguera :

- les pieux ou groupes de pieux d'ancrage sollicités latéralement, les efforts dans les lignes funiculaires variant d'une centaine de tonnes (ancrage de bouées de chargement et parfois de plates-formes semi-submersibles de forage dans le cas de sols raides) à 500 tonnes ou davantage (ancrage de plates-formes semi-submersibles de production en construction ou en projet);
- les groupes de pieux réunis par une plaque de base devant reprendre des efforts verticaux en tension de plusieurs milliers de tonnes pour l'ancrage de plates-formes à câbles (ou tiges) tendus (en projet par exemple pour le champ de Hutton en Mer du Nord) [5];
- les pieux de petites dimensions devant éviter le ripage de plaques de base (« templates ») supportant différentes installations de fond (têtes de puits, manifolds, ...).

Suivant leurs dimensions et les caractéristiques des terrains, les pieux d'ancrage sont :

- le plus fréquemment forés et cimentés;
- parfois battus: la technologie appliquée ira certainement en se développant;
- rarement vibrofoncés.

2.1. - Pieux d'ancrage forés et cimentés

La réalisation de pieux forés et cimentés, de diamètre généralement inférieur à un mètre, est effectuée le plus souvent à partir d'un navire de forage à positionnement dynamique, les technologies appliquées pouvant différer suivant chaque condition particulière (pieux isolés ou groupe de pieux, type de pieu, ...).

2.1.1. - Dans le cas de pieux isolés, le pieu portant l'outil de forage est le plus fréquemment descendu à l'extrémité du train de tiges [1]:

- le fonçage s'effectue le plus souvent à outil perdu;

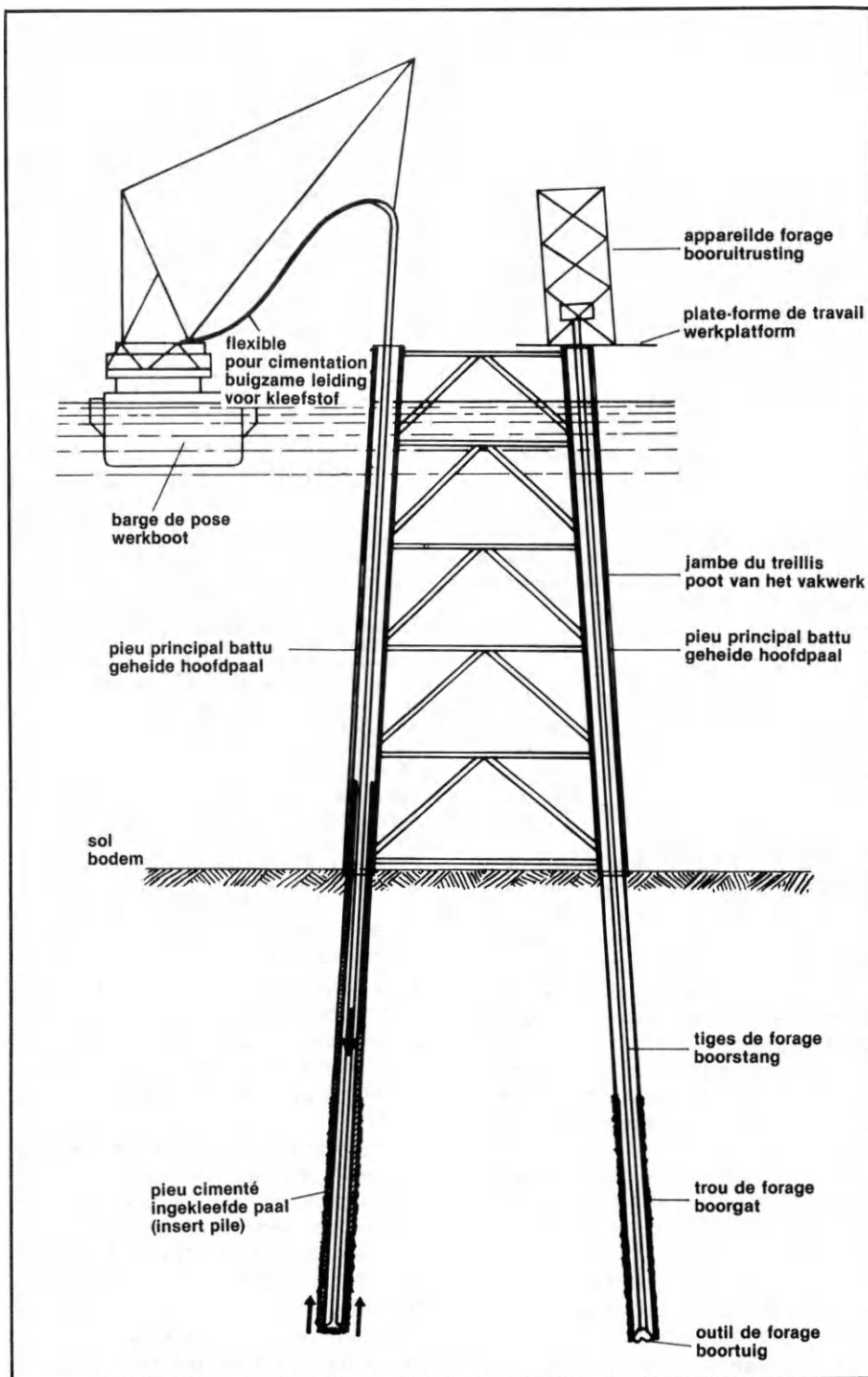


fig. 6 - Forage et cimentation des pieux « insert-Pile »

fig. 6 - Boren en inkleven der « insert-pile »-palen

- la cimentation s'opère à travers le train de tiges, prolongé à travers le pieu par un tube de cimentation;
- la déconnexion du train de tiges en tête du pieu, opérée éventuellement par plongeur jusqu'à 50-100 mètres d'eau, doit se faire automatiquement sous des profondeurs d'eau plus importantes.

A titre d'exemple on peut citer (fig. 8):

- les dix pieux (type AZ), de 35 cm de diamètre et de 20 mètres de fiche, réalisés en 1975 en Mer d'Iroise, par

une centaine de mètres d'eau (dans le calcaire du crétacé), à partir d'un navire de forage à positionnement dynamique, pour l'ancrage d'une plate-forme semi-submersible de forage;

- les six pieux spéciaux (brevet CG Doris) surmontés d'une partie flexible (chaîne) au droit de la couche de sédiments mous, mis en place en 1973 dans le Golfe de Gabès par 70 mètres d'eau pour l'ancrage d'une bouée de chargement.

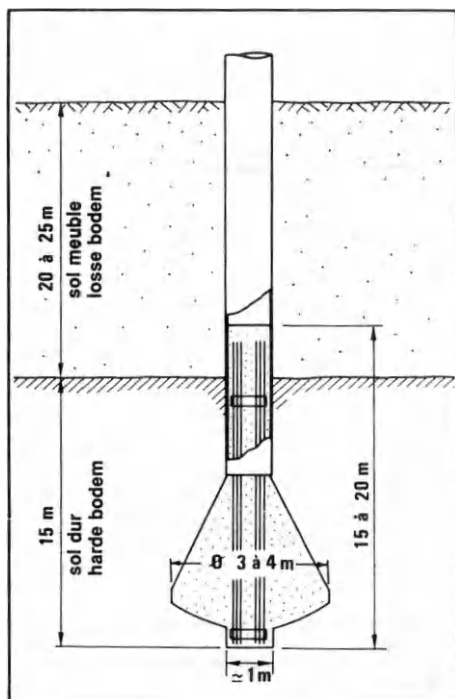


fig. 7 - Verdikte steunvoet toepasselijk in harde bodems (volgens B.mc. Clelland)

fig. 7 - Fondation élargie applicable dans les sols durs (d'après B.Mc Clelland)

ankeringspalen moeten zeer verscheidene functies vervullen, waarbij de afmetingen veel verschillen volgens de richting en de grootte van de krachten, de aard en de karakteristieken van de plaatselijke bodem. Men kan onderscheiden:

- palen of groepen van palen die zijdelings worden belast, waarbij de door kabels aangebrachte krachten kunnen gaan van een honderdtal ton (verankering van laadboeien en soms van half-onderdompelbare boorplatformen in het geval van steile bodems) tot 500 ton en meer (verankering van half-onderdompelbare productieplatformen, in aanbouw of in ontwerp);
 - groepen van palen verbonden door een basisplaat en bestemd om in verticale richting trekkrachten op te nemen van meerdere duizenden ton voor de verankering van gespannen kabel- (of stangen-) platformen die bv. in ontwerp zijn voor het olieveld van Hutton in de Noordzee [5];
 - palen van kleine afmetingen die het verschuiven moeten beletten van basisplaten (« templates ») die verschillende bodeminstallaties dragen (putkoppen, manifolds,...).
- Volgens hun afmetingen en de aard van de bodem zijn de verankeringspalen:
- meestal geboord en ingekleefd;
 - soms ingeheid: de toepassing van deze techniek zal zich zeker uitbreiden;

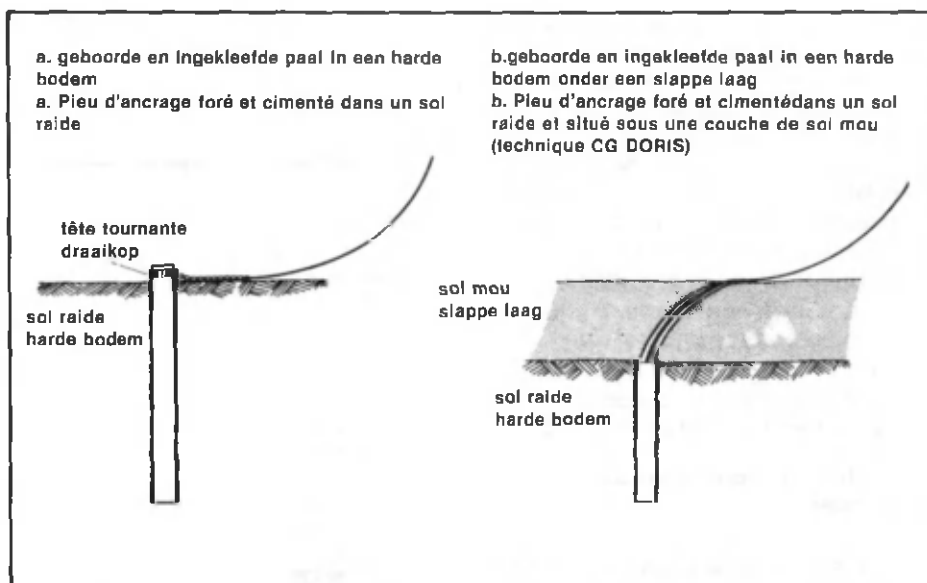


fig. 8 - Geboorde verankeringspalen

fig. 8 - Pieux d'ancrage forés

- uitzonderlijk met de trilmethode ingeplant.

2.1. - Geboorde en ingekleefde verankeringspalen.

Voor geboorde en ingekleefde palen, met algemeen minder dan één meter diameter, werkt men meestal vanaf een boorschip met dynamische positionering, waarbij de gebruikte technologie kan verschillen voor elk bijzonder geval (alleenstaande of groepen van palen, type der palen, ...)

2.1.1. - Voor het geval van alleenstaande palen, wordt de paal die het boortuig draagt meestal naar beneden gelaten onderaan een stel stangen [1].:

- het inplanten gebeurt algemeen met verloren boortuig;
- de inkleving gebeurt door een stangenstel dat langsdor de paal verlengd wordt met een kleefmiddel-leiding;
- het loskoppelen van het stangenstel aan de kop van de paal, dat eventueel door een duiker wordt uitgevoerd tot op 50-100 meter diepte, moet automatisch gebeuren voor grotere waterdiepten.

Als voorbeeld kan men aanhalen (fig. 8):

- de tien palen (type AZ) van 35 cm diameter en 20 meter heidiepte, geplant in 1975 in de Iroisezee, bij een honderdtal meter waterdiepte (in kalksteen van het Krijt), vanaf een boorschip met dynamische positionering, voor het verankeren van een half-indompelbaar boorplatform;
- de zes speciale palen (brevet GC Doris) met erboven een buigzaam element (ketting) ter plaatse van een

laag slap sediment, ingeplant in 1973 in de Golf van Gabès met 70 meter waterdiepte voor het verankeren van een laadboei.

2.1.2. - Voor het geval van een groep palen, wordt de basisplaat, voorzien met « trechters » voor het inschuiven der palen, voorafgaand op de bodem neergelaten voorzien van haar anker-tros. Het inschuiven van de palen vergt een visuele controle met televisie. Naar gelang de toegepaste techniek (nog in volle evolutie) en de diameter der palen kan men in overweging nemen:

- ofwel te boren met verloren boortuig, waarbij de paal als boorpijp dient;
- ofwel normaal te boren, om daarna de paal af te zinken aan het uiteinde van een stangenstel.

2.2. - Geheide of door trilling ingeplante verankeringspalen.

2.2.1. - De technologie der geheide verankeringspalen die een heihamer vergt, onderwater werkend zonder geleidestructuur (zoals de poot van een platform) is nog in haar beginstadium.

Een oplossing voorgesteld en afgebeeld in fig. 9 bestaat erin dat het geheel: paal en heihamer, zoals een schietlood wordt afgelaten;

- in het bijzonder geval dat de paal in de bodem dringt onder zijn eigen gewicht (en dat van de hamer) biedt het heiwerk geen moeilijkheden;
- in het meest voorkomende geval, wordt de paal in verticale stand vastgehouden door een stelsel, « puppet system » genoemd, waarbij de geleidekabels een zekere beweging

2.1.2. - Dans le cas de groupes de pieux, la plaque de base munie d'«entonnoirs» pour l'introduction des pieux est préalablement descendue sur le fond avec sa ligne d'ancrage. L'introduction des pieux nécessite un système de visualisation par télévision. Suivant la technologie appliquée (très évolutive) et le diamètre des pieux on peut envisager:

- soit de forer à outil perdu, en utilisant le pieu comme garniture de forage;
- soit de forer, puis de descendre le pieu à l'extrémité du train de tiges.

2.2. - Pieux d'ancrage battus ou vibrofoncés

2.2.1. - La technologie des pieux d'ancrage battus nécessitant la mise en œuvre d'un marteau sous-marin sans structure-guide (telle que jambe de plate-forme) est encore à ses débuts.

Une solution proposée et illustrée sur la figure 9 consiste à descendre en «fil à plomb» l'ensemble constitué par le pieu et le marteau:

- dans le cas particulier où le pieu pénètre dans le sol sous l'effet de son poids (et de celui du marteau) le battage peut se faire sans difficulté;
- dans le cas général, le pieu est maintenu à la verticale par un dispositif appelé «puppet system», les lignes-guides permettant de tolérer un certain déplacement du navire après le début du battage.

Une première opération de ce type a été réalisée en 1978 [4], en Mer du Nord sur le champ de Piper (dans l'argile), par 146 mètres d'eau, sans intervention de plongeur, à partir d'un navire à positionnement dynamique, pour la mise en place de six pieux isolés:

- marteau: d'un poids de 50 tonnes dans l'eau, développant une énergie de battage de 40 t x m;
 - pieux de 1,50 mètre de diamètre, de 36 mètres de long, pesant 37 tonnes dans l'eau, munis de leur chaîne d'ancrage d'un poids de 60 tonnes.
- La durée de mise en place de chaque pieu a décru de 100 à 30 heures, le temps de battage proprement dit ne dépassant pas 30 minutes.
- La verticalité des pieux était satisfaite à $\pm 1^\circ$ près tandis que l'azimut était imposé par l'orientation de chaque ligne d'ancrage.

2.2.2. - Le vibrofonçage des pieux, appliqué pour certaines opérations côtières ne nécessitant pas de matériel sous-marin, est rarement utilisé en haute mer. Il existe cependant des vibropercuteurs sous-marins (procédé I.F.P.), d'un poids de cinq tonnes envi-

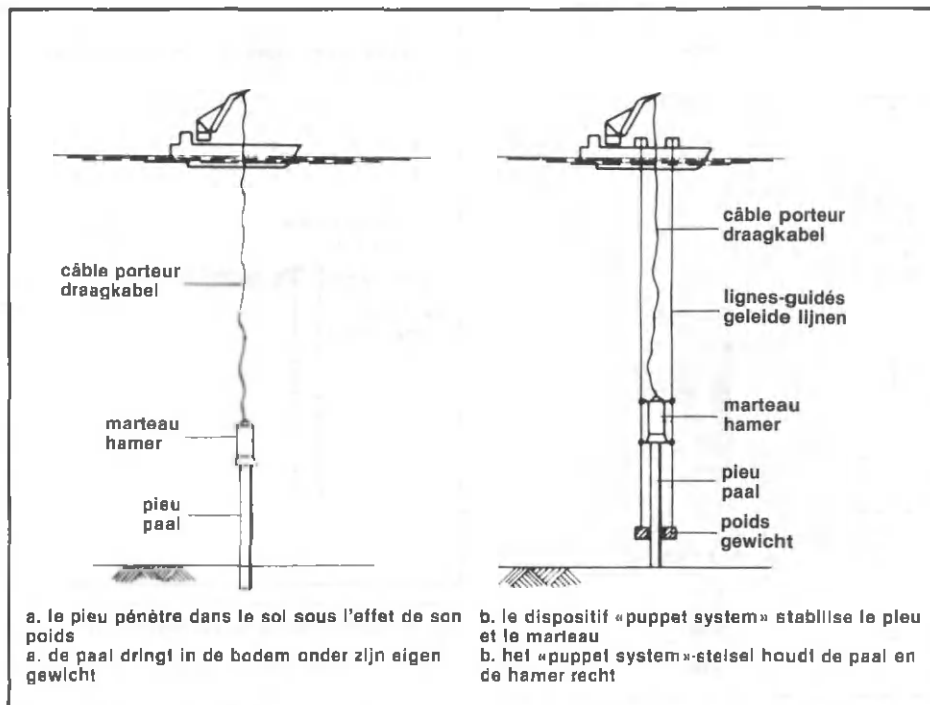


fig. 9 - Principe du battage sans structure guide (d'après J.W.Jansz)

fig. 9 - Principe van het inhelen zonder geleidestructuur (volgens J.W. Jansz)

ron, descendus en «fil à plomb», applicables sous 200 mètres (et même 600 mètres) d'eau pour le fonçage de petits pieux (jusqu'à 40-50 cm de diamètre environ) (fig. 10).

Une application de ce procédé a été faite en 1977 en Mer du Nord sur le champ de Buchan (silt argileux), par 120 mètres d'eau, pour la fixation d'une plaque de base («template») au moyen de six pieux de 0,30 mètre de diamètre et d'une quinzaine de mètres de fiche; la mise en place de chaque pieu n'excédait pas cinq à dix heures pour une durée de vibrofonçage d'une dizaine de minutes.

Le procédé mis en œuvre à partir d'un navire non spécialisé et relativement léger présente un avantage économique évident pour la réalisation de petits pieux.

3. - Tubes conducteurs

Le tube conducteur est, en fait, un pieu d'environ 40-50 cm de diamètre et de quelques dizaines à une centaine de mètres de fiche, mis en place dans le sol au début d'un forage pétrolier et destiné à supporter l'équipement tubulaire et la tête de puits;

- le tube conducteur remonte jusqu'à la plate-forme si la tête de puits est en surface: c'est encore le cas le plus fréquent compte tenu des profondeurs d'eau d'exploitation;
- le tube conducteur d'arrête au niveau du fond lorsque la tête de puits est sous-marine: cette disposition ira en se développant avec l'accroissement de la profondeur d'eau.

3.1. Mise en place des tubes conducteurs par battage

Le battage des tubes conducteurs présente, par rapport au forage, l'avantage de limiter le remaniement du sol en surface, surtout lorsque plusieurs têtes de puits sont regroupées.

3.1.1. - Lorsque le tube conducteur remonte en surface, le battage se fait à partir de la plate-forme de forage, la manipulation des tubes et du marteau s'effectuant à l'aide du mât de forage [2].

3.1.2. - Lorsque les têtes de puits sont sous-marines, le battage des tubes conducteurs est envisagé au moyen d'un marteau sous-marin, maintenu à la verticale (cf. 2.2.1.).

3.2. - Mise en place des tubes conducteurs par forage

3.2.1. - La technologie de mise en place par forage d'un tube conducteur ne diffère pas de celle de réalisation d'un pieu foré:

- forage d'un trou à un diamètre légèrement supérieur à celui du tube (de l'ordre de 40 cm);
- descente et introduction du tube grâce au dispositif de réentrée (avec sonar et télévision);
- cimentation du tube conducteur.

3.2.2. - La mise en place de plusieurs tubes conducteurs groupés est opérée après forage préalable d'un seul trou. Certaines réalisations récentes dans les sédiments très peu consolidés du Golfe du Mexique, par une soixantaine de mètres d'eau, constituent probablement des records à ce

van het schip toelaten nadat het heilwerk is begonnen.

Een eerste bewerking van deze soort is verwezenlijkt in 1978 [4], in de Noordzee op het Piperveld (in de klei), met 146 meter waterdiepte, zonder hulp van een duiker, vanaf een boorschip met dynamische positionering, voor het inplanten van zes alleenstaande palen;

- de hamer: 50 ton gewicht in het water, met een heilvermogen van 40 t X m;

- palen van 1,50 m diameter, 36 m lang, gewicht 73 ton in het water, voorzien van hun ankerketting van 60 ton gewicht.

De duur voor het inplanten der palen heeft afgenomen van 100 tot 30 uren per paal, waarbij de eigenlijke heitijd niet langer was dan 30 minuten.

De vertikaliteit der palen was juist tot op $\pm 1^\circ$ na, terwijl de azimuth gebonden was door de richting van elke ankerlijn.

2.2.2. - Het inplanten door trillen der palen, toegepast voor sommige bewerkingen langs de kust die geen onderzee-materiaal vergen, wordt slechts zelfden in volle zee uitgevoerd. Er bestaan nochtans tril-slag-boorders voor onderzee (het procédé I.F.P.), met circa vijf ton gewicht, die in «schietlood» worden afgelaten, toepasselijk bij 200 meter (en zelfs 600 meter) waterdiepte voor het inplanten van kleine palen (tot 40-50 cm diameter ongeveer) (fig. 10).

Dit stelsel werd in 1977 in de Noordzee toegepast op het Buchanveld (kleiachtig silt), bij 120 m waterdiepte, voor het bevestigen van een basisplaat («template») bij middel van zes palen van 0,30 m diameter en ongeveer 15 m heildiepte; het inplanten van elke paal vergde niet meer dan vijf tot tien uren werk voor een duur der trilbewerking van een tiental minuten.

Het procédé dat toegepast kan worden vanaf een niet gespecialiseerd en betrekkelijk licht vaartuig biedt onbetwistbare economische voordelen voor het inplanten van kleine palen.

3 - Geleidepijpen.

Een geleidepijp is, in feite, een paal met 40-50 cm diameter ongeveer en enkele tientallen tot een honderdtal meter heillengte, die ingeplant wordt bij het begin van een petroleum-boring, en bestemd is om de pijpuitrusting en de putkop te bevestigen;

- de geleidepijp reikt tot boven het platform als de putkop boven water moet komen: het is nog altijd de meest gebruikelijke oplossing in verband met de voorkomende waterdiepten;

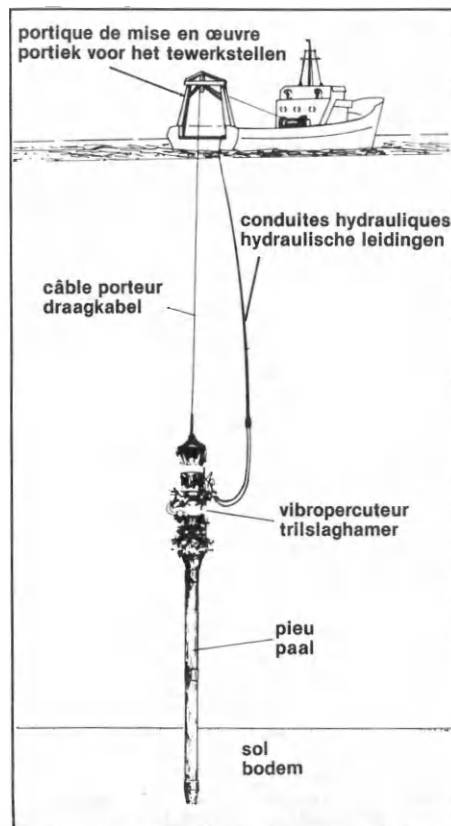


fig. 10 - Door de trillingen ingeplante paal (procédé I.F.P.)

fig. 10 - Vibrofonçage de pieu (procédé I.F.P.)

de geleidepijp reikt tot op het peil van de bodem als de putkop onderzee komt: deze schikking zal meer uitbreiding nemen in verband met de grotere waterdiepten die thans voorkomen.

3.1. - Inplanten van de geleidepijp door inheien.

Door de geleidebuis door inheien in te platen heeft men het voordeel dat het bodemvlak min wordt omgewoeld, vooral als verscheidene putkoppen in groep geplaatst zijn.

3.1.1. - Als de geleidepijp tot boven water reikt, gebeurt het inheien vanaf het boorplatform, waarbij de buizen en de hamer met de boormast worden behandeld [2].

3.1.2. - Als de putkop onderzee blijft, overweegt men het inplanten van de geleidebuis bij middel van een onderzee-heihamer, die in verticale stand wordt vastgehouden (cf. 2.2.1).

3.2. - Inplanten van geleidepijpen door boring.

3.2.1. - De technologie voor het inplanten door boring van een geleidepijp is de zelfde als voor een geboorde paal:

- boren van een gat met een diameter lichtjes groter dan die der pijp (van de orde van 40 cm);

- naar beneden laten en inschuiven van de pijp bij middel van het overeenstemmend materieel (met sonar en televisie);

- inkleven van de geleidepijp.

3.2.2. - Het inplanten van meerdere geleidepijpen in groepsvorm wordt uitgevoerd nadat men eerst een enkel gat heeft geboord. Enkele recente verwezenlijkingen in zeer slap terrein in de Golf van Mexiko bij een zestigtal meter waterdiepte zijn vermoedelijk op dit ogenblik rekordhoudende boringen voor de afmetingen van boringen in volle zee [6]:

- boren, bij middel van een Calweld boormachine, van een gat van 2,97 m diameter en 135 m boordiepte langsdor een korte paal van 3,17 m (vooraf geheld), waarna 12 geleidepijpen werden ingeplant en ingekleefd;

- boren, bij middel van een Skytop-boormachine (model n° 8), van vier gaten van 1,80 m diameter tot op een diepte van 245 meter, waarna zes geleidepijpen (per gat) van 50 cm diameter werden ingeplant en ingekleefd.

Besluit

1. Dit kort overzicht der technieken voor het inplanten van palen in volle zee, geïllustreerd door enkele recente uitvoeringen, maakt natuurlijk geen aanspraak op volledigheid. Het heeft alleen als doel de verscheidenheid toe te lichten van de verankeringsproblemen die voortspruiten uit de ontwikkeling van de petroleum-opzoeken en winningen op verscheidene honderden meters waterdiepte.

2. Het inheien, reeds intensief gebruikt voor de bevestiging van vakwerk-platformen, zal zeker nog meer in de gunst komen dank zij de ontwikkeling van de huidige onderzee-heihamers die tot 300 tot 400 meter waterdiepte kunnen tewerk gesteld worden.

3. Het boren der verankeringspalen vergt een voortdurende aanpassing der technologie aan de oplossing der meest verschillende problemen, zowel voor wat betreft de te overwinnen waterdiepten als de afmetingen der te verwezenlijken palen.

jour pour les dimensions de forage en mer [6]:

- forage, au moyen d'une foreuse Calweld, d'un trou de 2,97 mètres de diamètre et de 135 mètres de profondeur à l'intérieur d'un pieu court de 3,17 mètres (préalablement battu), puis mise en place et cimentation de 12 tubes conducteurs;
- forage, au moyen d'une foreuse Skytop (modèle n° 8), de quatre trous de 1,80 mètre de diamètre jusqu'à une profondeur de 245 mètres, puis mise en place et cimentation de six tubes conducteurs (par trou) de 50 cm de diamètre.

Conclusion

1. Ce rapide examen des techniques de mise en place des pieux en mer, illustré par quelques réalisations récentes, ne présente évidemment aucun caractère exhaustif. Il a seulement pour objectif de situer la diversité des problèmes d'ancrage posés par le développement de l'exploration et de l'exploitation pétrolière sous quelques centaines de mètres d'eau.
2. Le battage, déjà très utilisé pour la fixation des plates-formes treillis, connaîtra certainement un regain d'intérêt avec le développement des marteaux sous-marins actuels applicables sous 300 à 400 mètres d'eau.
3. Le forage des pieux d'ancrage nécessite l'adaptation constante de la technologie à la solution des problèmes les plus divers tant par les profondeurs d'eau concernées par les dimensions des pieux à réaliser.

Références - Referenties

1. **LE TIRANT P.** - Seabed Reconnaissance and Offshore Soil Mechanics for the Installation of Petroleum Structures. Editions Technip, Paris, 1979.
2. **COCHARD C.** - Mise en place de piles et tubes conducteurs sur les plates-formes pétrolières en mer. Méthode, appareillage et calcul de battage. Communication à divers séminaires (non publiée).
3. **Mc CLELLAND B.** - Design of Deep Penetration Piles for Ocean Structures. Terzaghi Lectures, published by ASCE, 1974, pp. 383-421.
4. **JANSZ J.-W.** - Underwater Piledriving - Today's Experiences and what is about to come. Proceedings of the BOSS' 79, London, August 1979, vol 1, pp. 447-474.
5. **TAYLOR D.-M.** - Conoco's Tension Leg Platform will Double Water Depth Capability. Ocean Industry, February 1980, pp. 35-39.
6. Designing «Gulf-Able» Platforms. Offshore, Nov. 1980. pp. 152-153.

La présente matière a fait l'objet d'une publication dans la revue française «TRAVAUX» III/1981 pp 53 à 58.

Bovenstaande studie werd ontleend aan het franse tijdschrift «TRAVAUX» III/1981, blz 53 tot 58.

RayGo

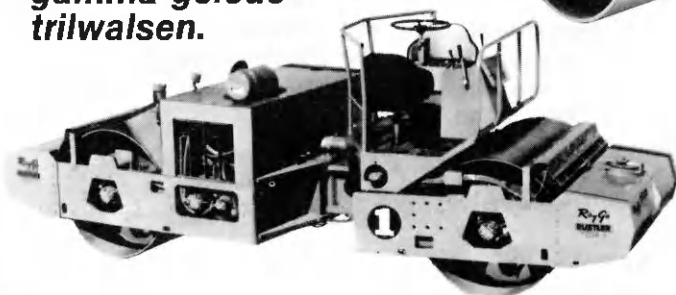
**Une gamme
complète
de rouleaux
articulés
vibrants.**

**Een volledige
gamma gelede
trilwalsen.**



HOES

**des finisseuses entière-
ment hydrostatiques avec
table lisseuse vibrante ex-
tensible hydrauliquement.
volledig hydrostatische
afwerkmachines met
trilbalk hydraulisch
verbreedbaar.**



decauville-02/251 30 83

Matexpo - Kortrijk 22/4 - 1/5 stand C7 - C8