

RÉALISATIONS DE PLATES-FORMES DE FORAGE EN MER

TROIS EXEMPLES DE CONSTRUCTION :

TYPE AUTO-ÉLÉVATRICE NEPTUNE-GASCOGNE
TYPE SEMI-SUBMERSIBLE PENTA 81
TYPE ARTICULÉE ELF-OCÉAN

Communication présentée au
Comité technique de la Société Hydrotechnique de France
le 21 novembre 1969

PAR J. RORET *

Il y a peu d'années, d'éminents spécialistes prédisaient l'épuisement des sources fossiles d'énergie : charbon et surtout pétrole. L'énergie nucléaire devait prendre progressivement la relève.

Deux éléments sont venus contrarier ces prévisions : d'une part un certain désenchantement en matière nucléaire, d'autre part, une grande expansion des découvertes, et surtout des espoirs de découverte de gisements de pétrole.

La consommation globale d'énergie s'accroît dans le monde, régulièrement selon un taux de 8 à 10 %. On peut dire aussi que la part de l'énergie prise par le pétrole ne cesse d'augmenter.

Les terres émergées ont été très largement prospectées et on peut affirmer que sur elles certainement peu de grandes découvertes de gisements de pétrole sont à espérer. J'ai dit : peu — je n'ai pas dit pas du tout. Il faut noter par ailleurs que le souci majeur des Compagnies pétrolières n'est pas tellement d'augmenter brutalement leur production, mais bien plus de s'assurer des réserves certaines.

Les côtes des continents ne constituent pas des frontières géologiques. Les zones sédimentaires productrices de pétrole situées en bordure de mer ont la plupart du temps des prolongements sous la mer.

S'agissant de pétrole et de prospection, puis d'exploitation, des problèmes de souveraineté se sont évidemment posés sur ces territoires situés sous l'eau. Il fut admis que la souveraineté d'un Etat riverain s'étendrait au plateau continental limité au large par la ligne de changement de pente. Il s'agit en fait d'une définition assez imprécise, et dont l'élasticité a été sollicitée un certain nombre de fois : on évoquait à l'origine des fonds de 50 m ; puis on est passé à 100 m, à 200 m ; nous parlons maintenant, au large des Etats-Unis, de plateau continental à 300 m de profondeur.

Il faut voir par ailleurs que les zones sédimentaires pou-

vant recéler du pétrole peuvent se situer à des profondeurs beaucoup plus importantes, contrairement à ce qu'on pensait généralement dans ce domaine.

Néanmoins limitée à 200 m seulement de profondeur, la surface du plateau continental mondial représente approximativement 26 millions de kilomètres carrés, soit quelque chose de l'ordre de 18 % de la surface des terres émergées. On peut dire que, géologiquement parlant, un tiers de ces surfaces révèle un certain intérêt pour les prospecteurs. C'est donc 8 à 9 millions de kilomètres carrés que représente le domaine d'activité de la prospection *off shore* du pétrole, ce qui justifie les efforts entrepris.

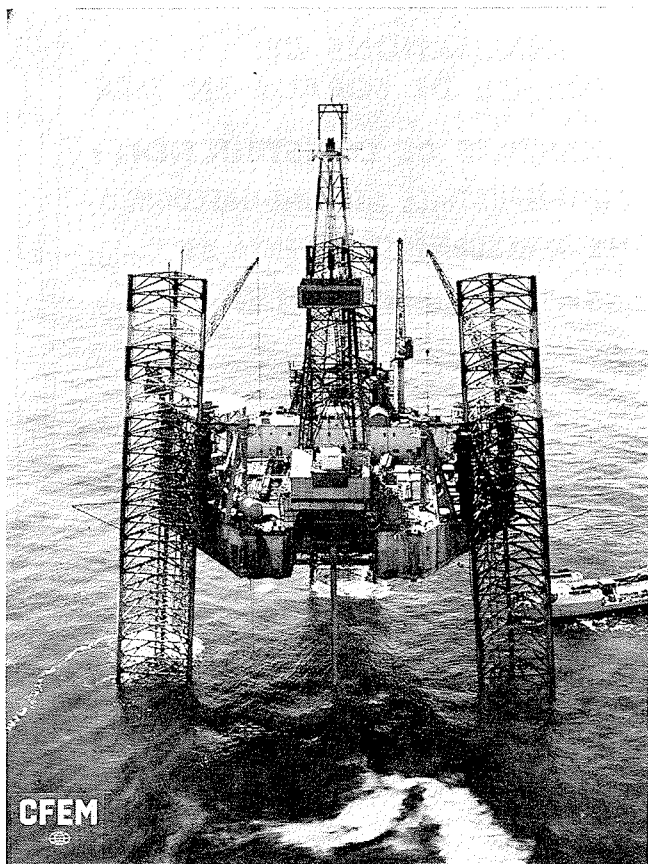
Tout récemment le boom de Prudhoe bay en Alaska fut une illustration saisissante de ceci. Il faut indiquer, pour donner un ordre de grandeur des chiffres dépensés, qu'en 1968, les Etats-Unis ont consacré de l'ordre de 2 milliards de dollars aux seules recherches pétrolières, dont la plupart *off shore*.

La recherche et l'exploitation pétrolière marines ont débuté aux Etats-Unis, en Louisiane, dans les lacs et dans les multiples bras des fleuves et rivières. On s'est ensuite attaqué à la côte du golfe du Mexique : ceci se passait il n'y a guère plus de vingt ans. Les installations étaient sommaires, constituées quelquefois de caissons qu'on posait sur le fond, ou d'installations posées sur des pieux, le plus souvent en bois. L'augmentation progressive des profondeurs a amené les entreprises à concevoir de nouveaux engins.

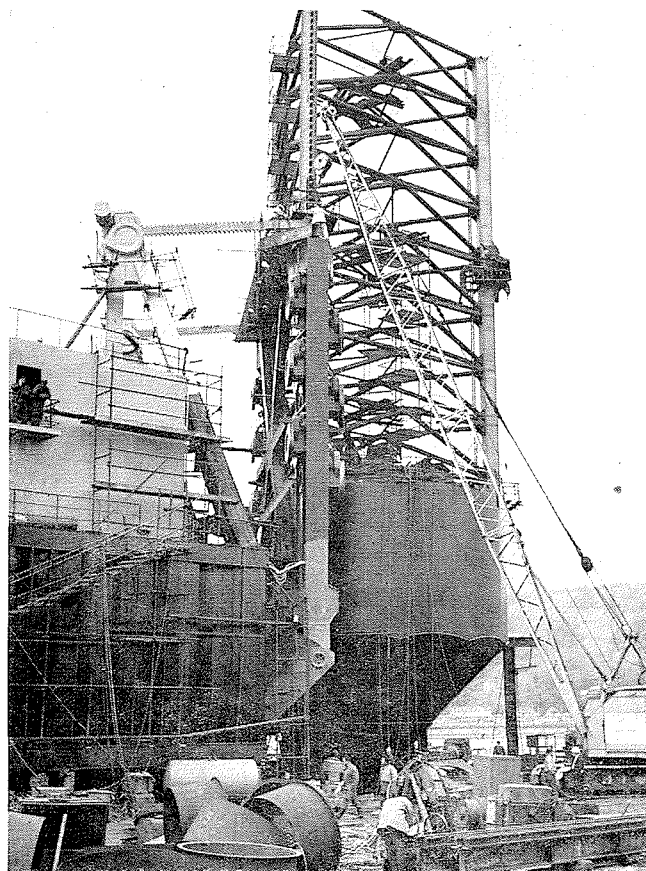
Il faut voir que les chances de rencontrer un gisement productif de pétrole ne sont pas plus grandes en mer qu'à terre, c'est-à-dire qu'elles sont de l'ordre de 10 %. Il a donc fallu envisager en mer comme à terre les deux étapes classiques du forage, celles-ci suivant les études géologiques, puis les études sismiques, ces deux étapes étant l'exploration, puis l'exploitation.

Ayant obtenu un permis de recherche sur une surface

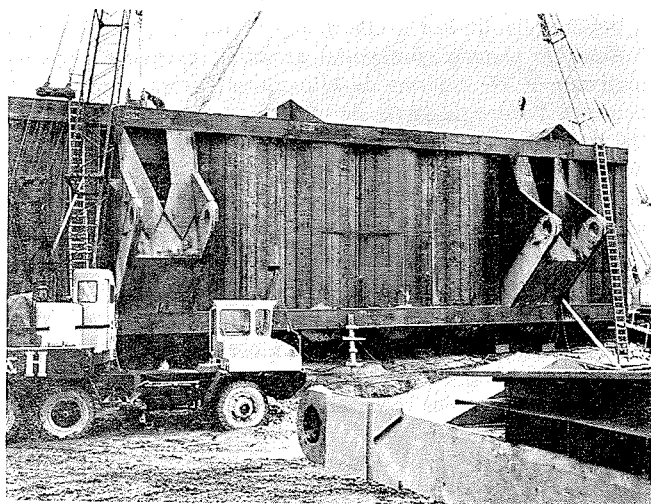
* Directeur, Compagnie Française d'Entreprises Métalliques, Paris.



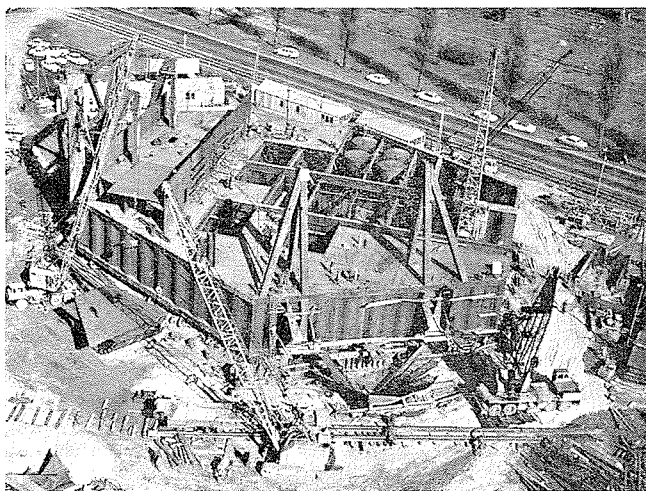
1/



3/



2/



4/

parfois très importante, de l'ordre de plusieurs milliers de kilomètres carrés, la société pétrolière se doit de forer de nombreux puits en des endroits très divers, représentant une couverture suffisante de son permis, pour définir la zone où un permis d'exploitation pourra être demandé.

Un poste d'exploration de pétrole *off shore* doit donc être mobile, facilement et rapidement déplaçable; il doit aussi être autonome, c'est-à-dire comporter tout ce qui est nécessaire au forage. Il doit en outre résister aux sollicitations du milieu perturbé où il opère, fournissant aux installations de forage une stabilité aussi bonne que possible.

Ces engins d'exploration peuvent être classés en trois familles :

D'abord les bateaux : il s'agit soit d'anciens bateaux adaptés, soit d'engins flottants conçus spécialement, de façon classique ou de forme « catamaran ». Leur utilisation est limitée par leur instabilité dès que la houle devient importante.

Il faut noter que l'Institut français du pétrole a étudié et construit un bateau, le *Terebel*, qui utilise la tige de forage souple avec positionnement dynamique du bateau.

La seconde famille est représentée par les plates-formes auto-élévatrices. En position de forage, elles reposent sur le fond par un certain nombre de pieds, lesquels sont mobiles par rapport à la coque : ce système leur permet de se déplacer en flottaison remorquée.

A cette famille appartiennent les plates-formes du type Ile-de-France construites par GUSTO en Hollande, les plates-formes GEM (Hersent de Long), enfin les plates-formes Letourneau du type Neptune 1 et Neptune-Gascogne.

La troisième famille se rapporte aux plates-formes semi-submersibles qui possèdent deux positions d'équilibre de flottaison : une pour le remorquage, portant un tirant d'eau de 7 à 8 m; l'autre pour le forage où un balastage abaisse considérablement ce tirant d'eau jusqu'à 22 ou 25 m, procurant ainsi une stabilité très améliorée.

A cette troisième famille appartiennent les plates-formes américaines : Blue Water, Setco, etc., et enfin la plate-forme Penta 81, sur laquelle nous reviendrons tout à l'heure.

Le second type d'engin concerne l'exploitation, et là le problème est tout différent : on est en face d'une présence certaine de pétrole, cette certitude ayant été acquise au cours de la campagne de prospection. On a alors besoin d'une plate-forme recevant le matériel de forage, car des puits d'exploitation sont à pratiquer. Il n'est plus question en principe de déplacement, sauf en cas de désillusion... ce qui arrive parfois.

Après le forage, la plate-forme doit servir de support aux équipements de premier traitement : sépareurs, dégazeurs, et elle doit permettre la connection au système de ramassage du brut par des sea-lines ou une connection directe avec un réservoir sous-marin, si ce type de stockage a été envisagé.

Jusqu'à 50 m de profondeur d'eau, la solution est relativement simple : un tronc de pyramide à base en général carrée, construit en tubes, réalise une structure spatiale très valable. Ces structures sont le plus souvent préfabriquées à terre, transportées sur barge ou par flottaison directe, et mises en place par le moyen de derricks-barges d'une certaine puissance.

Nous avons d'ailleurs étudié un engin facilitant le transport et réalisant le basculement de la structure, mais ceci n'est pas notre propos aujourd'hui.

De telles structures deviennent très lourdes et donc très coûteuses pour des fonds avoisinant 100 m. Au-delà de 100 m, on aboutirait à des monstres... J'emploie le conditionnel car il n'existe pas, dans le monde actuellement, de plates-formes d'exploitation pour des fonds supérieurs à 100 m, c'est ce qui nous a amenés à étudier la plate-forme articulée expérimentale dont je parlerai tout à l'heure.

Ayant brossé le tableau général, je voudrais revenir sur trois cas particuliers de construction : les plates-formes auto-élévatrices, les plates-formes semi-submersibles et enfin la plate-forme articulée expérimentale.

La figure 1 donne une vue prise d'hélicoptère de la plate-forme Neptune-Gascogne, construite pour le compte de la Société Neptune, avec pour premier utilisateur le groupement Esso-Erap, en opération dans le golfe de Gascogne.

Vous apercevez la coque à la partie supérieure et les trois pieds. Cette coque a 7 m de hauteur; elle est de forme hexagonale et mesure 49 m entre les faces parallèles et 53 m de diagonale. Elle comporte une encoche de 11 x 11 m pour permettre le forage. Les trois pieds mesurent 118 m de long chacun; leur ensemble constitue un prisme à base triangulaire de diamètre 11 m. Ces pieds sont inclinables obligatoirement, du fait de la géométrie du fonctionnement de la plate-forme qui doit s'élever à partir du niveau de flottaison, ces pieds étant articulés au fond de la mer. Cette inclinaison doit être variable. Ceci conduit à articuler les coulisseaux sur des axes situés à l'extérieur de la coque. Leur manœuvre s'effectue par des crémaillères. L'inclinaison peut varier de 0 à 10°.

Le déplacement de cette plate-forme est de 7 250 t. Son tirant d'eau en flottaison, en charge, est de 4,30 m. Elle a été déterminée pour l'utilisation par des fonds de 60 m, avec les conditions maximales suivantes qui représentent pratiquement celles du golfe de Gascogne :

- hauteur de houle : $2a = 20$ m (période 16 s);
- vent : 160 km/h.

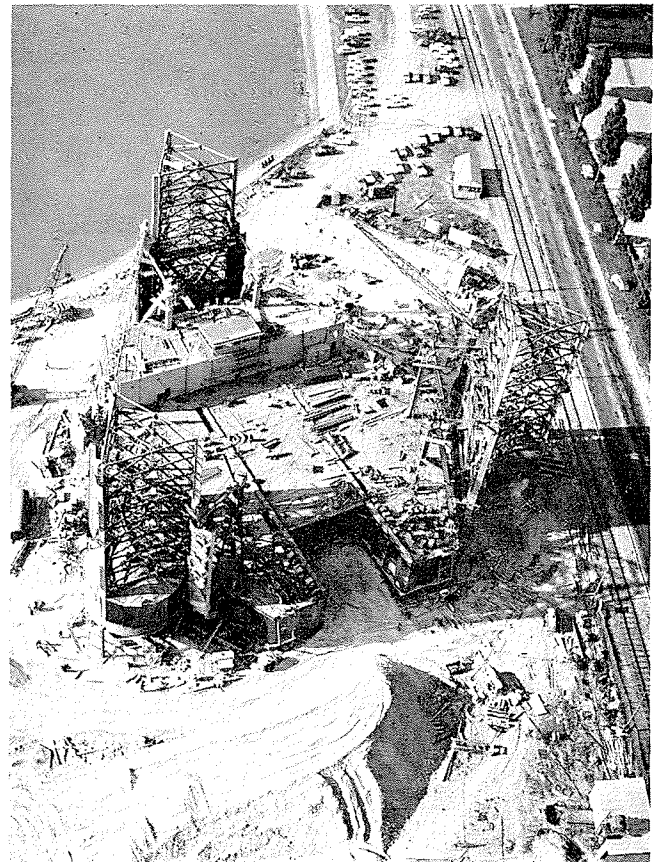
Il faut remarquer que ce type de plate-forme correspond à une pression de contact des pieds sur le fond de la mer relativement faible, puisqu'elle est ici de 2,4 kg/cm².

La manœuvre pour la montée ou la descente des pieds s'effectue à des vitesses variables de 45 cm à 1,35 m à la minute.

A l'intérieur, on trouve tous les équipements nécessaires au forage. Tout d'abord la source d'énergie, sous forme de sept moteurs Diesel de 1 000 ch chacun attaquant soit des génératrices pour le forage (puisque les éléments de forage sont attaqués en courant continu), soit des alternateurs pour la manœuvre des pieds.

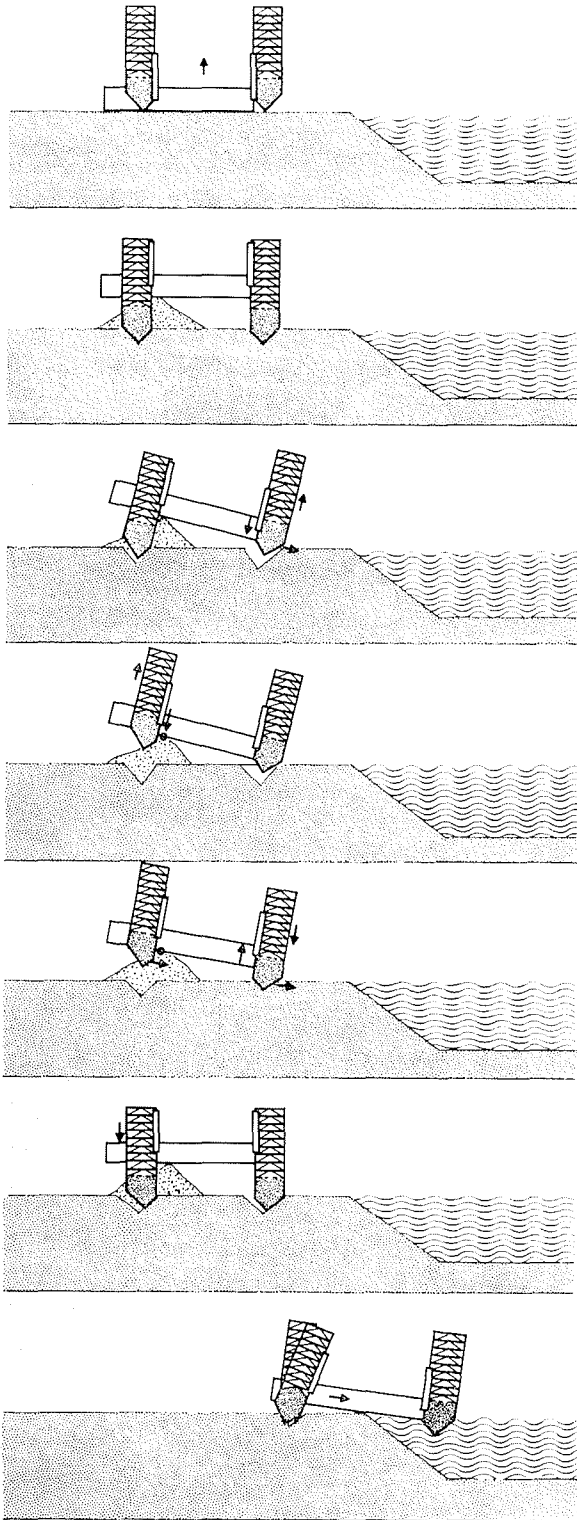
L'équipement de forage permet de travailler jusqu'à 6 000 m de profondeur. Les quartiers d'habitation sont prévus pour recevoir cinquante-huit personnes; et l'on trouve à bord les bacs à boue, les unités de cimentation, de distillation de l'eau de mer, etc. L'ensemble est surmonté d'un derrick de 45 m. Enfin, l'ensemble comporte une plate-forme d'hélicoptère qui permet d'assurer les liaisons avec la terre. Les Sikorsky S 61 peuvent s'y poser.

Cette plate-forme correspond à une conception de la Société Letourneau. Elle nous fut commandée par la Société Neptune pour le compte de son premier utilisateur Esso-Erap. Cette plate-forme est maintenant en Méditerranée, après avoir fait un certain nombre de trous en Gascogne. Cette plate-forme a fait le tour de l'Espagne par Gibraltar.



LANCEMENT DE LA PLATE-FORME NEPTUNE GASCOGNE

Le mot lancement est assez impropre pour définir l'opération de mise à l'eau de la plate-forme Neptune-Gascogne. Il s'agit en fait d'une opération qui met en jeu les ressources des machines modernes et des techniques aussi anciennes, pourrait-on dire, que les Pyramides. On doit souligner que la méthode de « lancement » utilisée constitue également une série d'essais de résistance de la mécanique et des structures et une épreuve des installations électriques.



1 La plate-forme, contenant déjà toute la machinerie, repose sur le sol du chantier où elle a été construite. Ses trois piles ont été partiellement montées. Sur ces piles, on hisse la plate-forme jusqu'à une hauteur d'environ 8 m.

2 Des bulldozers amassent du sable, environ 10 000 m³, sous la partie arrière de la plate-forme.

3 On remonte la pile avant, de telle sorte que la plate-forme bascule et fasse avec l'horizontale un angle d'environ 16°. Ce mouvement provoque une légère avancée de l'ensemble.

4 On relève les piles arrière. La plate-forme vient reposer sur le sommet du tas de sable.

5 On soulève la pile avant, ce qui a pour effet, en remontant la plate-forme, de la faire pivoter sur le sommet du tas de sable et, aussi, de déplacer vers l'avant le sabot de la pile.

6 On abaisse les piles arrière, les bulldozers repoussent le tas de sable ; la plate-forme retrouve la situation de la figure 2, mais elle a avancé d'environ 1 m. On répétera la série d'opérations jusqu'à ce qu'elle soit à peu près à moitié engagée dans le bassin où elle doit flotter.

7 On va alors mettre à profit la possibilité d'incliner les piles. En agissant sur les piles arrière, et en inclinant alternativement l'une et l'autre, la plate-forme va « ramper » d'elle-même sur la berge, pour finalement flotter librement.

6/ « Neptune-Gascogne » a été ainsi « lancée » à Rouen. L'ensemble de l'opération a duré une semaine. Elle a été ensuite remorquée jusqu'à l'embouchure de la Gironde, où ses piles seront complétées jusqu'à leur hauteur définitive.

Une particularité exceptionnelle réside dans le principe de montage et de mise à l'eau, qui d'ailleurs est imposée par le donneur de licence, la Société Letourneau de Longview (Texas).

La figure 2 représente le montage à terre. Nous voyons la coque de 7 m de hauteur, en tôles ondulées. Nous apercevons les chapes de l'articulation autour de laquelle le coulisseau des pieds pourra faire varier l'inclinaison.

Pour la figure 3, nous sommes sur le site terrestre de montage. On aperçoit les articulations, le chevalet, en haut duquel se trouve la crémaillère horizontale qui commandera la variation d'inclinaison de la pile.

Nous voyons la partie basse d'une pile. C'est un grand cylindre de 11 m de diamètre, terminé par une bêche, la forme de la bêche devant être adaptée au terrain rencontré dans la zone de forage.

La crémaillère commandant le levage est située sur deux génératrices du prisme triangulaire. Il faut noter qu'un ensemble préfabriqué de crémaillère comme celui-ci pèse 72 tonnes.

Les figures 4 et 5 montrent une vue aérienne du chantier. Nous apercevons la forme hexagonale, l'encoche de forage, le pont supérieur, le château (quartier d'habitation) et les parties basses des trois piles.

Voici la partie exceptionnelle de la construction. Comme je l'ai dit, la Société Letourneau impose une fabrication totale en site terrestre, à quelque distance, mais aussi proche que possible d'ailleurs, de la mer ou d'un fleuve.

La plate-forme est ici construite. Cette maquette représente la plate-forme Neptune 1 dont les pieds étaient parallèles et passaient à travers la coque, y trouvant un encastrement; mais le principe est le même pour la plate-forme dite Gascogne.

Il est inutile de construire l'intégralité de l'élévation des pieds : ce serait plutôt gênant pour le transport. Lorsque la construction est terminée par les moyens du bord comme si nous nous trouvions en opérations en mer, la plate-forme est soulevée de terre d'une hauteur d'environ 8 m. Corrélativement toute la charge se trouve répartie sur les trois pieds et ceux-ci s'enfoncent un peu.

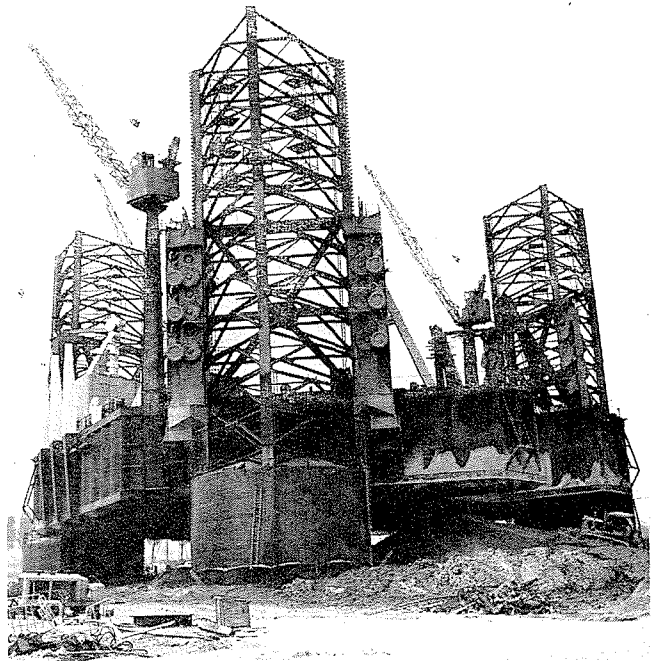
Nous venons placer un tas de sable représentant 10 000 m³ sous la plate-forme levée, on l'installe de telle sorte que son sommet se trouve en arrière du centre de gravité de la plate-forme; à ce moment-là on relève le pied avant, ce qui abaisse la partie avant de la plate-forme, et il se produit une rotation autour des piles arrière, il y a ainsi déplacement. Le résultat de tout ceci est une certaine avancée, puis la pile arrière est relevée et la plate-forme vient s'appuyer sur le tas de sable. Elle glisse dessus, en même temps qu'elle parachève une autre rotation autour de ce point.

Le résultat des deux opérations qui ont été pratiquées, c'est que l'ensemble a avancé d'à peu près 1 m. La phase suivante consiste à se reporter à la phase 1. On relève la plate-forme; des bulldozers poussent le tas de sable de telle sorte que son sommet avance de la distance dont la plate-forme a avancé dans l'opération précédente.

C'est une méthode un peu « pharaonique »... et cela permet de mettre la plate-forme à l'eau.

Le bailleur de licence prétend qu'une plate-forme mal-traitée de la sorte, arrivant jusqu'à l'eau et flottant est assurément une plate-forme bien conçue et bien construite !

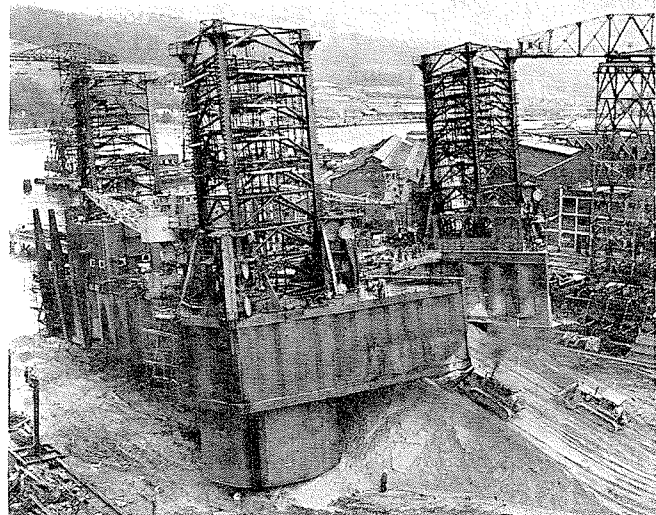
Sur la figure 7, vous avez la matérialisation par l'image de ce qui était représenté en schéma. C'est la première opération. La plate-forme est levée sur ses pieds, le pied avant a été abaissé, vous apercevez le tas de sable à l'arrière.



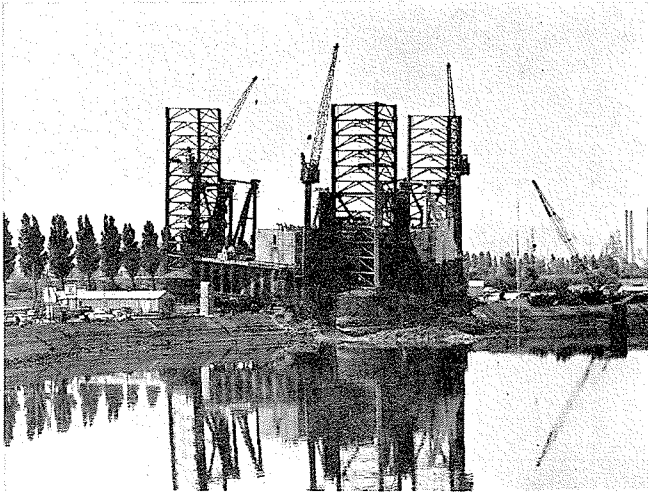
7/

La rotation n'a pas encore été pratiquée puisque les deux piles arrière n'ont pas encore été levées.

Sur la figure 8, des bulldozers D 7 donnent une idée de l'échelle ! Ils viennent pousser le tas de sable de façon à lui procurer un avancement équivalent à l'avancement précédent de la plate-forme. Il est possible de se rendre compte de l'inclinaison prise.



8/



9/

Sur la figure 9, la plate-forme qui avance vers la mer. Devant, elle fait « bêche » et entraîne quelque dizaines de mètres cubes de terrain, qu'il faudra rectifier un peu

ensuite. Nous nous trouvons à la darse des docks du port de Rouen.

Sur la figure 10, notre plate-forme flottant sur la Seine en remorquage. Nous n'avons monté qu'une partie de ses pieds de 118 m de hauteur; les éléments qui doivent compléter à cette hauteur se trouvent stockés sur le pont. Il nous fallait passer sous le pont de Tancarville, ce qui impliquait un ensemble tirant d'air/tirant d'eau limité.

Pendant la traversée il y a eu une tempête assez forte (un vent de force 7) au large de Quiberon.

Sur la figure 11, la plate-forme qui a fait son périple autour de la Bretagne est installée dans une fosse dans l'embouchure de la Gironde, à Meschers, par 27 m de fond... Il nous a été possible de procéder à l'élévation des piles pour les porter à leur longueur définitive, chaque élément de prisme étant divisé en trois parties (pour des questions de poids) et monté, puis soudé en position; la plate-forme est maintenant terminée; elle a ses pieds complets... Elle est ici en remorquage vers son premier emplacement de forage.

Figure 12, voici une vue de Neptune 1. Je vous la montre pour que vous ayez une idée de la différence. C'est dans le port du Havre que nous avons réalisé l'opération que je viens de décrire. Les trois pieds sont parallèles; ils ont



10/

78 m de hauteur et passent au travers de la plate-forme. Pour le reste, les deux plates-formes se ressemblent.

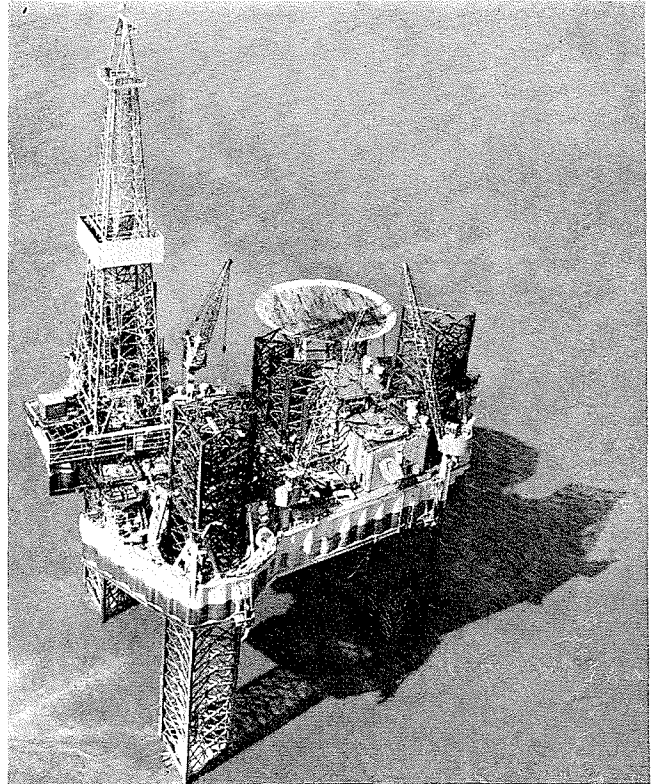
Cette plate-forme a foré en mer du Nord : elle a fait quelques découvertes de gaz. Maintenant elle est dans l'Adriatique, au large de Rimini.



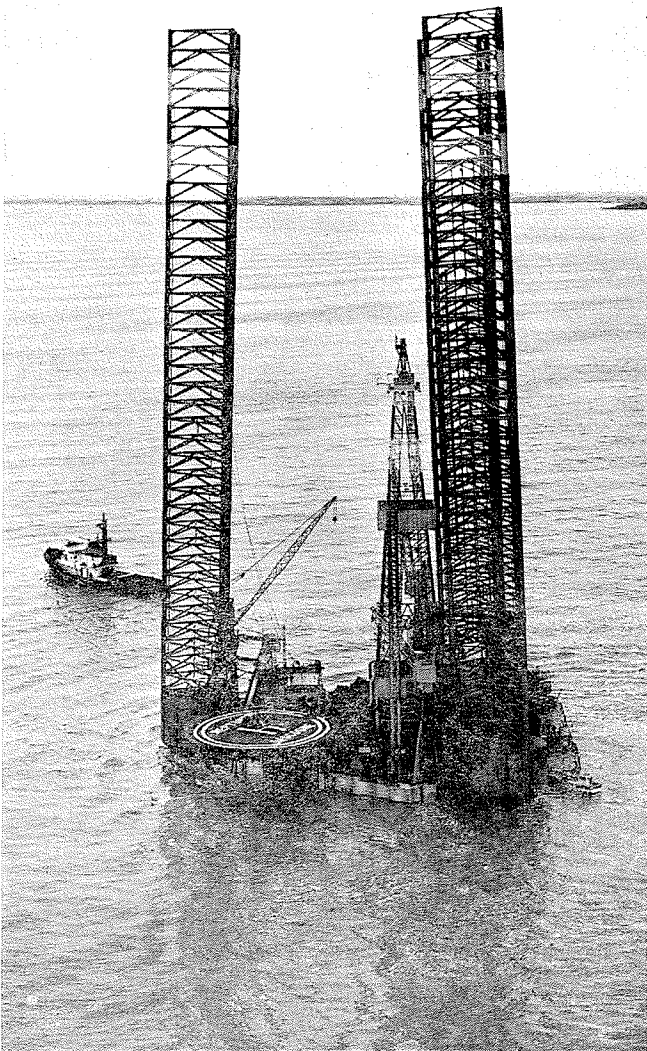
Je voudrais passer à la seconde description qui concerne les plates-formes semi-submersibles. Il s'agit toujours de plates-formes d'exploration.

La France possède des fonds à présence probable de pétrole situés au large des Landes dans des profondeurs allant de 100 à 200 m; par ailleurs, elle a pris des intérêts dans des forages en mer du Nord, au large de la Norvège où des profondeurs équivalentes risquent d'être atteintes.

Il fallait donc pouvoir utiliser un matériel différent des plates-formes auto-élévatrice. Le Comité d'études marines a donc décidé de procéder à des études en ce sens, et il les a confiées à l'Institut français du pétrole. Celui-ci, à son tour, a demandé à Neptune une participation importante pour la mise au point au moins d'études et peut-être la réalisation d'une solution française. C'est ainsi que, pour la Société Neptune, en liaison avec elle et avec le



12/

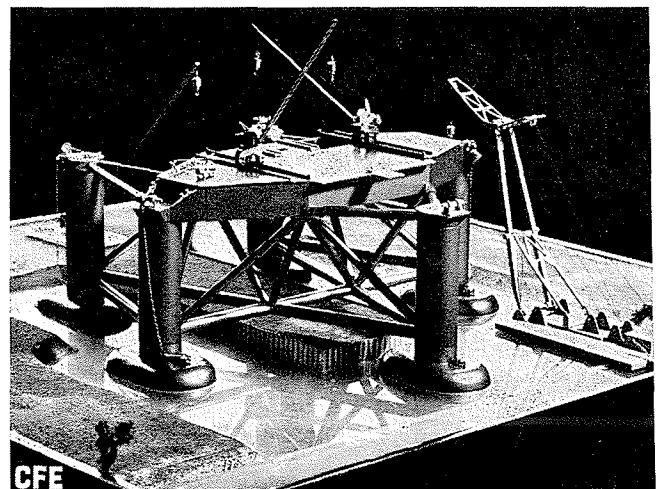


11/

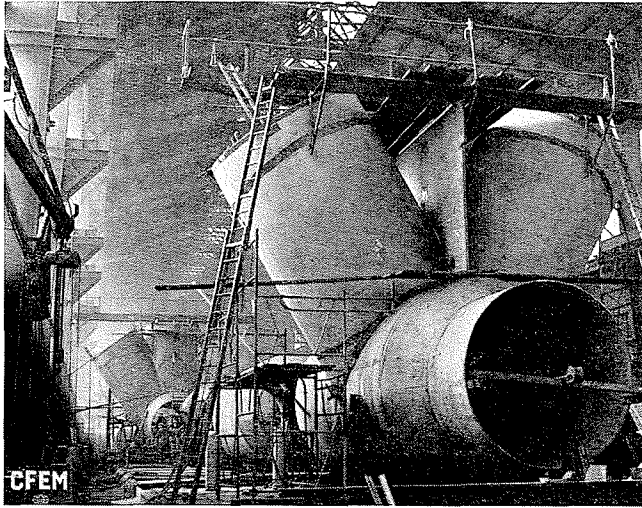
concours et en liaison avec SOGREAH, ma Société a entrepris cette étude.

Nous avons naturellement dû tenir compte de nombreux accidents qui étaient survenus aux deux types principaux de plates-formes américaines construites selon ce principe : cela constituait en somme pour nous une base négative, mais solide, pour notre étude. Le résultat de tous ces travaux correspond à une conception totalement française, ne ressemblant à aucune autre des plates-formes construites jusqu'à présent (mais nous pensons que d'autres commencent à avoir les mêmes idées que nous). La technique adoptée comporte des avantages très importants de stabilité.

Il est certain qu'il a fallu entreprendre un certain nombre d'études de base, que les publications de l'époque ne nous

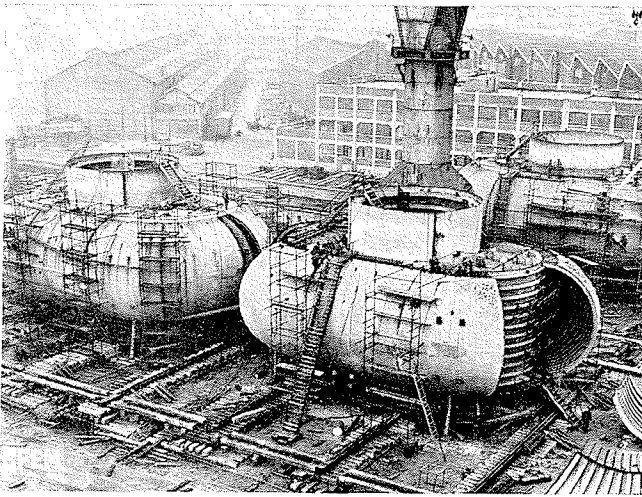


CFE
13/

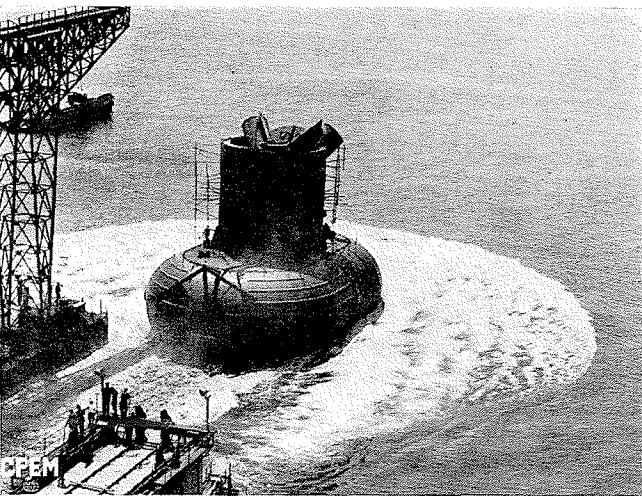


CFEM

14/

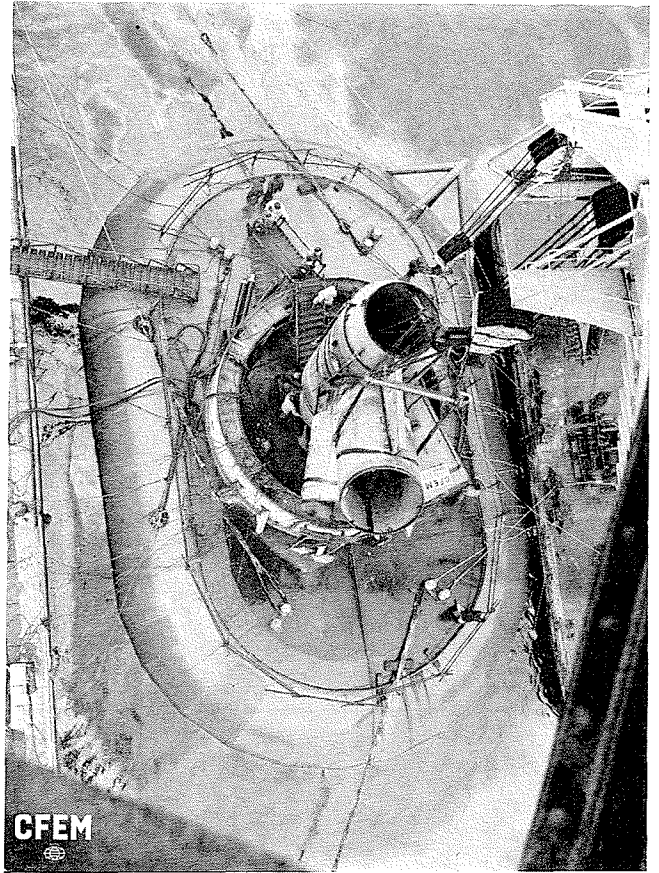


15/



CFEM

16/



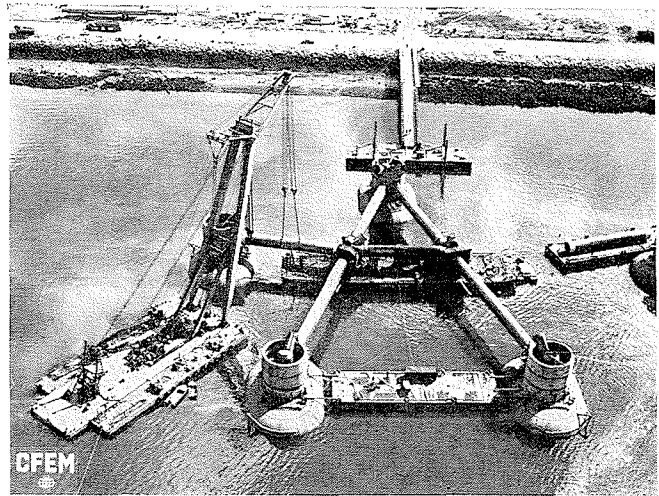
CFEM

17/

permettaient pas d'obtenir (en particulier sur l'action de la houle sur des corps flottants, et sur les comportements des différentes formes de flotteurs).

Après un certain nombre d'années d'études de retour en arrière et d'hésitation, le projet Penta 80 est né.

Sa caractéristique essentielle (mais je ne voudrais pas entrer trop dans la technique, puisqu'il s'agit d'une après-midi d'application) est d'offrir en opération un volume de carène immergé important sous une surface de flottaison réduite, une grande stabilité grâce à une très bonne répartition des flotteurs, et enfin un tirant d'eau réduit en remorquage.



CFEM

18/

C'est évidemment à différents programmes mathématiques qu'il a fallu faire appel pour optimiser les dimensions et même les dispositions de l'architecture.

Le programme « Fran » a été utilisé pour le dimensionnement des entretoises. Pour vous donner une idée de la complexité des calculs, je voudrais indiquer qu'il a été examiné ou envisagé cent cas de houle, cinq cas différents de chargement statique, cinq cas de ballastage et dix cas d'ancrage. Si nous multiplions tous ces éléments les uns par les autres, on aboutit à un nombre de cas considérable. Il a d'ailleurs fallu établir un programme auxiliaire pour trier les diverses combinaisons de ces cas et trouver quelles combinaisons correspondaient aux sollicitations maximales.

La figure 13 représente la maquette de Penta 81 qui comprend cinq flotteurs indépendants, que vous voyez ici. Ils sont de dimension respectable : chacun a 25 m de long, 16 m de large et 9 m de haut. Ils sont situés au sommet d'un pentagone régulier de 81 m de diagonale. Chacun d'entre eux est surmonté d'une pile cylindrique de 8,5 m de diamètre et de 35 m de haut. Ces cinq piles sont entretoisées par une structure spatiale dont la conception de calcul est telle qu'on les amène à être isostatiques. En fait les encastresments entre les nœuds rendent l'ensemble éminemment hyperstatique. Ce réseau est constitué de tubes cylindriques de 2 et 3 m de diamètre.

A la partie supérieure se trouve la coque de 6,50 m d'épaisseur, se répartissant en trois niveaux qui comportent à l'intérieur tous les éléments classiques que nous indiquions tout à l'heure à l'intérieur de la plate-forme auto-

élévatrice... (Diesels, bacs à boue, cimentation, etc.); il y a aussi le quartier d'habitation, prévu pour soixante-huit personnes.

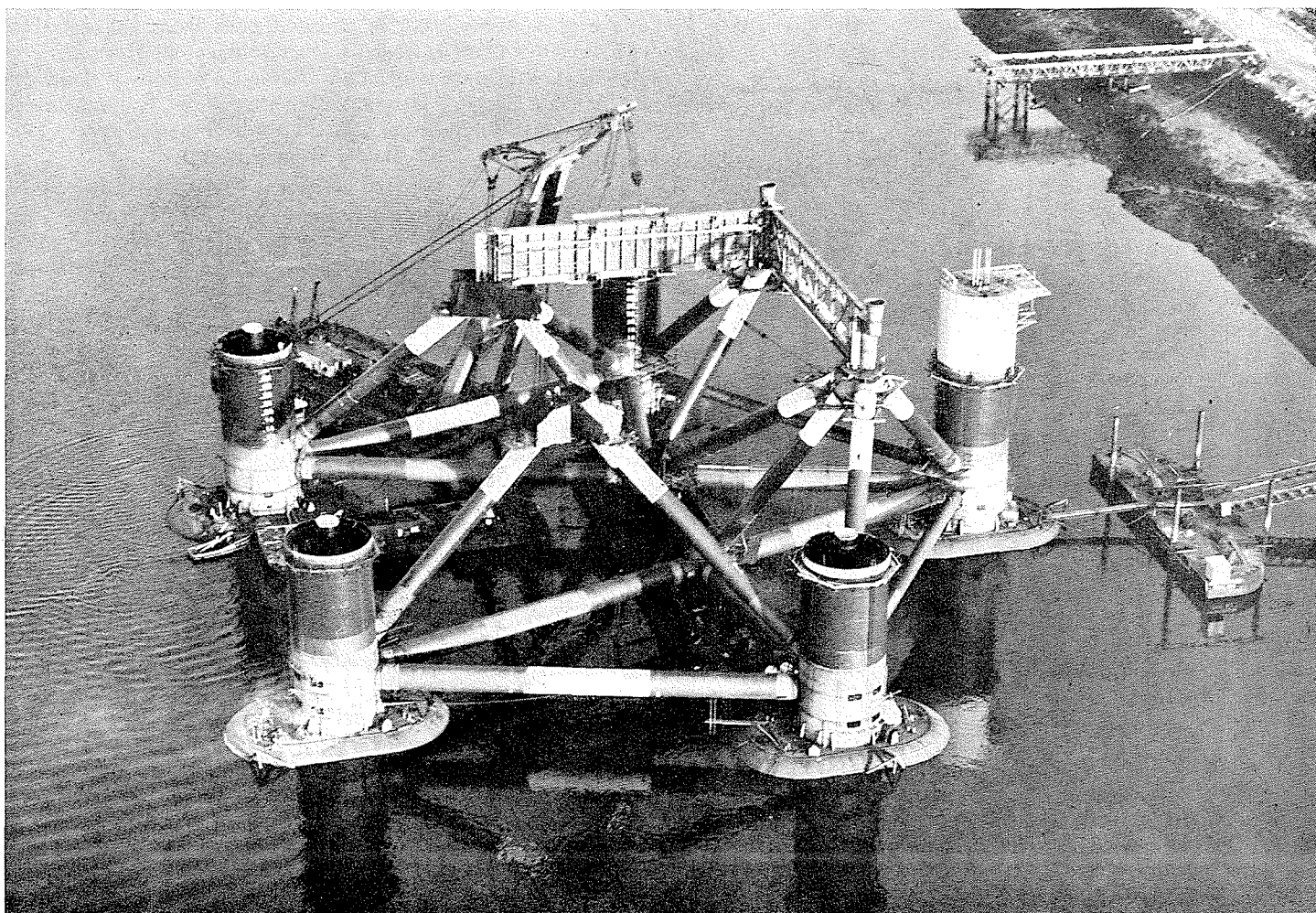
Au remorquage, le tirant d'eau est de l'ordre de 7 m, et pour le forage, comme je vous l'indiquais tout à l'heure, un ballastage important amène le niveau de l'eau à peu près à la hauteur où je vous montre la flèche, soit 22 à 24 m. En position de forage, c'est-à-dire balastée, le déplacement de la plate-forme est de l'ordre de 18 000 t.

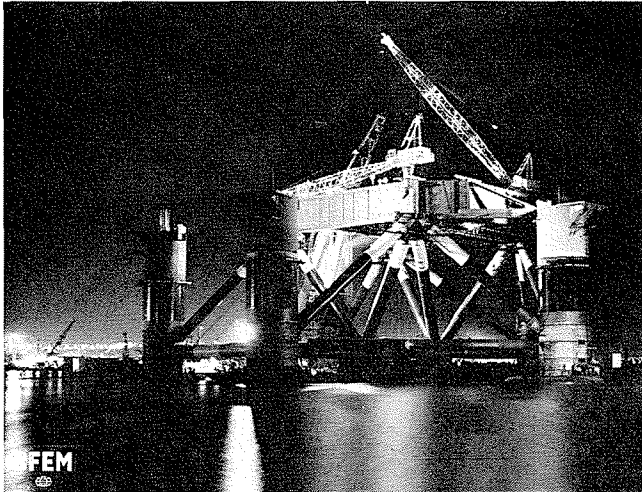
Le résultat de nos calculs savants se mesure par le gain du pilonnement par rapport à la houle; et l'on peut dire que dans une houle de l'ordre de 10 m, pour une période de 12 s, ce gain est de l'ordre de 6. Dans certains cas favorables de période, le gain peut aller jusqu'à 10.

A titre d'exemple, je peux vous dire que la tempête qu'a subie la plate-forme la première semaine de novembre au large de Biscarosse correspondait à une houle maximale de 11 m; cette houle était à la fréquence de 11 s et le pilonnement enregistré a été de 1,80 m. Depuis lors, Penta 81 a subi des houles de 16 m.

La stabilité horizontale est assurée par dix ancres de 15 t (deux pour chacune des cinq piles), dont les câbles de 70 mm de 1 500 m de long, sont repris par des chaudières à la partie basse, pour être repris ensuite par des treuils en haut des piles.

C'est ce problème d'ancrage qui limite l'utilisation de cette plate-forme à des fonds de 200 m : le stockage de 1 500 m de câbles et le diamètre auquel nous avons abouti nous conduisent à penser que les 200 m de fond sont

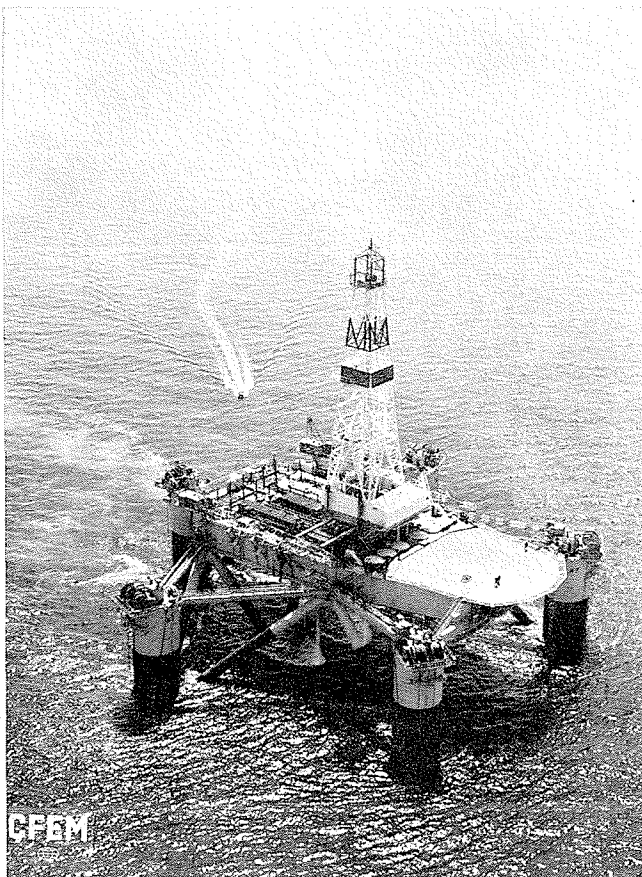




20/

sans doute une limite pour ce genre d'ancrage. M. Coiral vous dira qu'au-delà il faut envisager des ancrages dynamiques...

Le chantier d'assemblage des 7 000 t de la structure a duré six mois ; l'équipement a pris à peu près quatre mois ensuite. Cette plate-forme a été livrée au mois de juillet dans le port du Havre. Elle a fait ses essais au large de Ouistreham. Ensuite elle a fait le tour de la Bretagne où elle a essuyé une sérieuse tempête ou tout au moins des vents très importants au large de Quiberon. Enfin, elle est



21/

en opération depuis le mois d'août au large de Biscarosse.

Je vous ai parlé de la phase des calculs, il y a aussi un certain nombre d'essais. Nous connaissons très peu de chose sur le calcul des nœuds... Nous savons bien assembler des tubes de petit diamètre ou des structures de charpente porteuse, mais nous ne savons pas par où les efforts devaient passer dans les assemblages. Aussi, avons-nous réalisé une maquette à l'échelle 1/5^e pour essayer d'abord de déterminer les conditions de rupture de ces assemblages, et d'autre part de trouver les éléments qualitatifs et quantitatifs de dimensionnement.

Les éléments métalliques de Penta 81 ont été construits dans nos ateliers de Rouen et assemblés sur un chantier flottant au Havre.

Voici, dans notre usine de Rouen, un exemple de test établi pour la détermination d'un nœud. Les résultats ont remarquablement suivi les prévisions de nos calculs.

Figure 14, voici les mêmes nœuds, mais à l'échelle 1, en cours de construction dans l'usine. Vous voyez la partie inférieure de la pile et les éléments d'entretoise dont l'élément d'assemblage a été préfabriqué.

Nous voulions éviter d'avoir, sur le chantier, à faire des soudages où la géométrie descriptive intervient; nous voulions nous limiter à des assemblages d'éléments circulaires ou orthogonaux. Par conséquent, tous les nœuds ont été préfabriqués.

Figure 15, voici le chantier d'assemblage des flotteurs ; nous apercevons ici le démarrage de la partie cylindrique des piles; et nous apercevons aussi les structures intérieures résistantes, utilisées en partie pour le compartimentage du balast des différents flotteurs. Il s'agissait de véritables petits sous-marins. C'est pourquoi nous avons fait assembler trois des flotteurs dans un chantier naval en Normandie et deux à Port-de-Bouc. Ceux fabriqués à Port-de-Bouc ont suivi le circuit inverse de celui entrepris par la plate-forme : ils ont fait le tour par Gibraltar et la Bretagne pour rejoindre au Havre le chantier d'assemblage.

Figure 16, il s'agit du lancement d'un élément de flotteur. Son poids doit être de l'ordre de 500 t (25 m de long, 16 m de large, 9 m de haut). Le premier nœud inférieur allant juste au-dessus du flotteur était fixé sur les flotteurs à qui avant remorquage.

La figure 17 montre la mise en place de cet élément de nœud sur le flotteur. Ceci représentait autant d'opérations de moins à réaliser sur le chantier flottant du Havre. C'est un convoi de sous-marins bien inhabituel qui a rejoint le chantier d'assemblage du Havre.

C'est en fait, je le crois, la première fois qu'une telle plate-forme était assemblée sur chantier flottant. Un ponton BCF, convenablement ancré, a amené de Rouen la première entretoise arrimée à chaque extrémité d'un nœud préfabriqué. Le flotteur côté terre a été arrimé et relié par deux entretoises au premier élément. Puis ce fut le tour des deux flotteurs extérieurs qui ne possèdent dans ce plan qu'une liaison avec l'élément de base. Un ponton soudé à chacun d'eux a constitué l'entretoisement provisoire. Puis ce fut le tour du flotteur amont (fig. 18) et de son entretoise, puis du flotteur aval.

Ensuite, les entretoises en élévation constituant deux polyèdres ont été assemblées, toujours par des nœuds préfabriqués.

Les éléments préfabriqués de piles (poids unitaire 200 t) furent amenés et mis en place. Tout était alors prêt pour commencer le montage de la poutraine des ponts (fig. 19). C'est une bigue flottante de 200 t de capacité qui a permis ces montages spectaculaires et rapides.

Bien programmé (un planning PERT avait été établi) ce

montage exceptionnel s'est déroulé sans coup férir, seulement interrompu par des vents supérieurs à 20 m/s.

D'importants problèmes ont été posés par la soudure de l'acier E 38 des entretoises. Il s'agit d'un acier de provenance allemande au vanadium.

Nous nous sommes trouvés confrontés au problème du « lamellar tearing » ce phénomène inconnu auparavant et qui était responsable du récent accident de la plate-forme américaine Sea-Quest. Nous n'avions pas trop de la compétence de notre client, de nos conseils : Institut de soudure, Technigaz, M. le Professeur Schnadt et de notre propre laboratoire pour élaborer les processus de soudage capables de donner toute garantie.

Un préchauffage de chaque soudure a dû être réalisé au chantier comme il l'avait été en usine. Des brûleurs à propane et des résistances électriques furent utilisés. Le travail se poursuivait jour et nuit (fig. 20).

Bien avant la fin des travaux de structure, l'armement avait commencé : installation du matériel de bord, de forage, de production d'énergie, de la zone vie, des treuils, de l'électricité demandèrent la présence de plus d'exécutants sur le chantier que la structure. Là plus qu'avant la programmation minutieuse fut nécessaire.

Enfin la construction terminée et vérifiée, les circuits électriques, les ballasts, les treuils essayés, la plate-forme quitta le Havre pour effectuer ses essais fort concluants en baie de Seine; puis le constructeur l'a remise à ses utilisateurs (fig. 21).



Passons maintenant au domaine de l'exploitation :

Je vous ai parlé tout à l'heure des solutions traditionnelles, permettant d'aller jusqu'à 100 m, et constituées par des troncs de pyramide à section carrée. En liaison avec notre filiale EMH, pour le compte de l'ERAF représentant le Comité d'études marines, utilisant des fonds du Comité du Fonds de soutien des hydrocarbures, nous avons étudié un système résolvant les problèmes posés par des plates-formes situées dans des fonds supérieurs à 200 m.

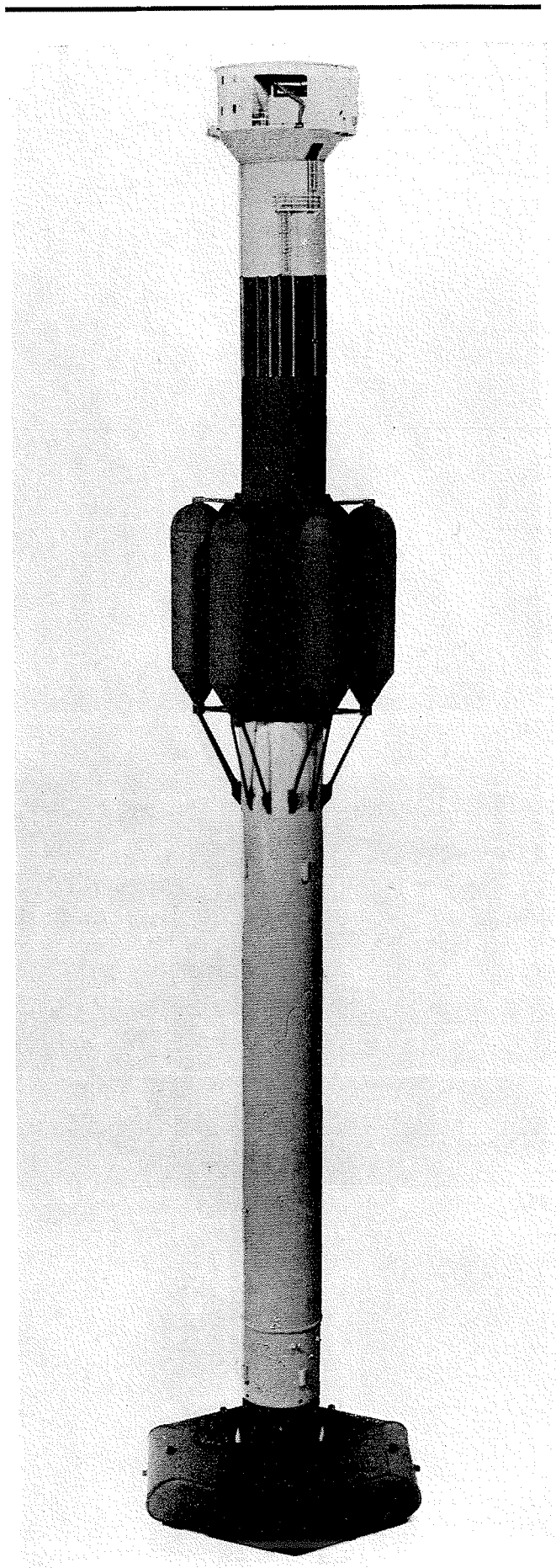
Nous avons remarqué la difficulté qu'il y avait à liasonner les pieds de plates-formes multipodes, et nous avons pensé qu'une solution pour diminuer la difficulté de cette liaison pourrait consister à étudier un modèle monopode : nous avons pensé à un pied unique ancré et haubanné.

A la suite d'études faites à Chatou, nous avons considéré que les efforts d'ancrage étaient trop importants et nous avons envisagé la construction d'une plate-forme articulée à sa base dans toutes les directions et maintenant sa verticalité grâce à un couple de redressement obtenu par le poids d'un lest de béton situé à la partie inférieure et la poussée d'Archimède agissant sur des flotteurs placés à la partie supérieure.

Nos études ont été convaincantes. Elles ont abouti à la commande d'un prototype à l'échelle 1/2, ce qui représente tout de même des fonds de 100 m.

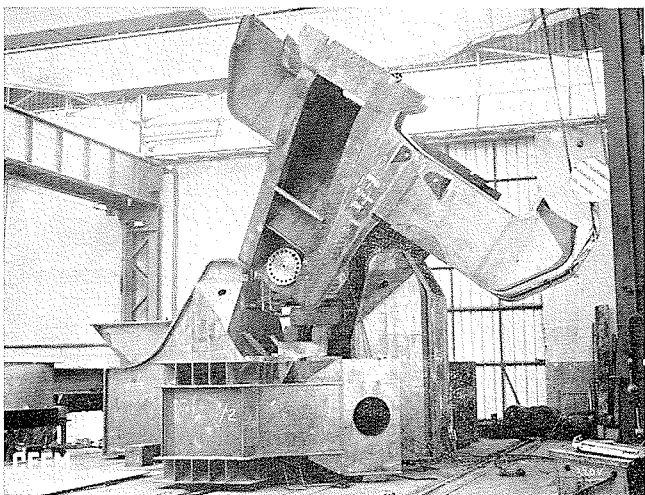
Cette plate-forme fut baptisée Elf-Océan. Elle est en opération depuis le début août de l'année dernière, au large de Biscarosse; et son comportement a permis de vérifier l'ensemble des hypothèses que nous avons émises à son sujet.

La plate-forme se compose, en partant du bas (fig. 22) d'une embase qui est un rectangle de 21 m sur 24 m constitué par quatre tubes métalliques cylindriques de 4,25 m de diamètre. Elle comporte une plate-forme de connection avec des embases de vérinnage et des simbleaux pyramidaux de liaison avec ce qui vient au-dessus. Immédiatement au-dessus, il y a un joint à la Cardan permettant toutes les libertés de déplacement de la plate-forme; puis un fût

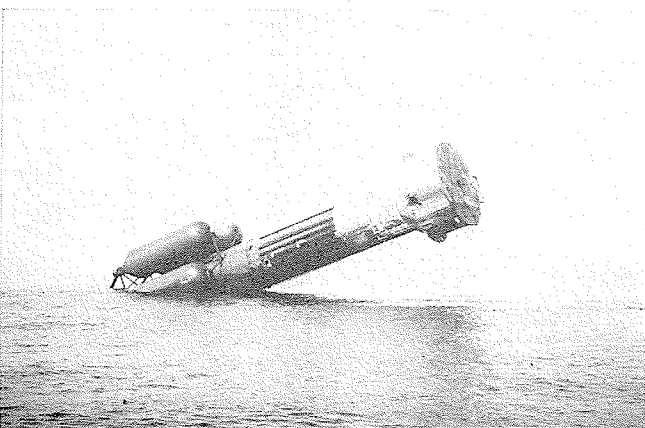




23/



24/



25/

cylindrique de 7 m de diamètre et de 125 m de longueur pesant 1 000 t.

Ce fût comporte à sa partie supérieure un élargissement où se trouvent les zones techniques et les zones « vies » (production d'énergie et vie à bord du personnel). Tout en haut, se trouve un hélicoptère.

Vous apercevez dans la zone toujours immergée six flotteurs périphériques constituant l'élément de flottabilité extérieur, dont je parlais tout à l'heure.

Les éléments de cette plate-forme ont été étudiés en bassin, sur maquette, ce qui nous a permis d'étudier la mise en place et de confirmer les calculs.

Pour la construction, nous avons réalisé les éléments préfabriqués en usine; nous les avons assemblés au chantier du Trait en Seine-Maritime. Nous voyons ici un cylindre de 7 m de diamètre et 80 m de longueur, qui a été lancé comme un bateau (fig. 23).

Le cylindre flottant a été remorqué autour de la Bretagne pour arriver à La Pallice, qui était notre base d'assemblage (relativement proche de la zone opérationnelle, située au large de Biscarosse).

L'élément qui est parti de Rouen possédait à l'intérieur tout son équipement. Le Diesel notamment était en place à 90° de sa position définitive...

A La Pallice, nous avons pu utiliser la base de sous-marins. L'élément bas, fabriqué à La Pallice même a pu être assemblé suivant la technique de la jumboisation des bateaux.

Les flotteurs ont été soudés successivement autour du corps cylindrique. La soudure était faite à l'air libre, nous obtenions la rotation de la plate-forme par ballastages successifs, de façon à voir émerger la zone dans laquelle nous avions à souder.

Voici le cardan (fig. 24), pièce maîtresse de cet ensemble, qui d'ailleurs fait l'objet d'un brevet. Cette pièce permet des rotations considérables puisqu'elle a été essayée à 35° de rotation sous tous les angles. C'est une pièce réalisée en mécano-soudure dans nos ateliers de Blanc-Misseron.

La partie basse du cardan viendra se fixer sur l'embase à son tour. Elle est liaisonnée provisoirement à la plate-forme pour le transport.

Pendant ce temps, l'embase dont je parlais tout à l'heure, avec ses simbleaux pyramidaux de guidage et ses éléments de blocage, est construite en cale sèche.

Un premier convoi est constitué par l'embase précédente qui part en remorquage. Avec d'infinies précautions et par ballastage de ses cylindres, elle est immergée à l'endroit prévu. Je ne développe pas davantage parce que vous aurez des explications complémentaires sur cette opération dans le film Elf-Océan.

Cette embase est donc immergée par 99 m de fond à l'emplacement choisi pour le positionnement de la plate-forme.

Un deuxième convoi est constitué par la plate-forme elle-même, remorquée à l'horizontale jusqu'à proximité de l'endroit où se trouve l'embase.

Par ballastage de la partie basse, la rotation de cette plate-forme est amorcée. Elle a été calculée pour que, pendant le transport elle puisse supporter une houle de 7 m (ce qui d'ailleurs ne s'est pas produit). Nous avons une « couverture météorologique » très large, le transport n'ayant pas duré plus d'une journée.

La plate-forme prend une inclinaison importante et s'oriente assez rapidement vers la verticale (fig. 25).

Le ballastage a été déterminé de telle sorte qu'elle soit encore un peu trop haute par rapport à sa position finale.

Alors qu'une mise en place automatique avait été étudiée, Elf a finalement préféré utiliser une méthode manuelle.



Des plongeurs de la COMEX sont descendus pour relier, sur les cônes de guidage de l'embase, des câbles qui descendaient le long de la plate-forme à travers des guides définissant une génératrice. Progressivement par action sur ces câbles et par action sur le ballastage lui-même progressif, la plate-forme a été descendue à sa place et la partie basse du cardan est venue s'encaster dans l'élément bas défini tout à l'heure.

Voici la plate-forme Elf-Ocean telle qu'elle s'est présentée le 2 août 1968 de l'année dernière et telle que pratiquement elle se présente aujourd'hui (fig. 26).

On peut dire que l'intérêt porté par les professionnels du pétrole du monde entier à notre colonne articulée fut immédiat. De nombreux contacts sont en cours avec les Sociétés américaines, anglaises, japonaises, pour trouver un débouché à cette solution tout à fait nouvelle.

En fait, cette plate-forme nous semble devoir devenir indispensable lorsque des exploitations seront nécessaires par des fonds de 200 m. Par exemple, dans le golfe de Gascogne, si Penta 81 trouvait de l'huile. On pourrait l'utiliser aussi à Santa-Barbara, au large des côtes de Californie, lorsque l'émotion soulevée par les fuites et la marée noire correspondante sera calmée; également dans un certain nombre d'endroits du golfe où nous avons tout lieu de penser que du pétrole se trouve à ces profondeurs.

Il me semble réconfortant que la seule solution trouvée dans le monde actuellement soit le fruit de la collaboration entre un industriel français et l'industrie pétrolière, aidée en cela par le ministère de l'Industrie.

Je dois ajouter que l'intérieur de la colonne qui, dans l'application que je vous montre ici, se trouve en communication avec la mer, pourrait devenir un réservoir de stockage immergé tout à fait valable. Un problème nous est d'ailleurs actuellement posé par les Américains pour une colonne dans 360 m d'eau avec possibilité de forer 60 puits à partir de sa plate-forme: il s'agit d'une « Tour Eiffel » à l'envers, dont la pointe serait montée sur cardan, dont l'embase serait prolongée de 60 m et autour de laquelle on pourrait disposer successivement de soixante positions de forage.

D'autres applications, différentes de celle de la production du pétrole, sont envisagées: soit l'installation de terminaux au large pour l'embarquement et le débarquement du pétrole, soit des bases de départ pour l'industrie minière sous-marine (qui semble vouée à un très grand développement), soit encore des colonnes touristiques avec restaurants sur et sous l'eau, soit des éléments de base pour la pisciculture maritime, etc. Et là je voudrais, en vous remerciant de votre attention, laisser voguer votre imagination sur les applications éventuelles de cette plate-forme articulée.

Discussion

Président : M. Ph. CLEMENT

M. le Président félicite M. RORET pour son remarquable exposé, abondamment illustré de documents photographiques de qualité.

M. COIRAL apporte quelques compléments d'information sur le Pentagone 81:

Sa parfaite stabilité par gros temps a été bien confirmée au cours d'une grande tempête récente comportant des houles d'une amplitude moyenne ou significative de 11 mètres ainsi que l'a indiqué M. RORET; j'ajoute que le système d'instrumentation monté à bord de la plate-forme a enregistré, à cette occasion, une vague dont la hauteur atteignait 16 mètres.

La profondeur maximale d'utilisation de la plate-forme est essentiellement limitée par les difficultés d'ancrage de la structure, elles-mêmes conditionnées par les conditions météorologiques ren-

contrées; dans le golfe de Gascogne, celles-ci sont généralement mauvaises mais, dans un site plus favorable, le même équipement permettrait d'atteindre des profondeurs plus importantes. L'ordre de grandeur de 200 mètres pourrait être largement dépassé en augmentant des lignes d'ancrage.

La méthode de construction adoptée par C.F.E.M. est originale. Les techniciens de C.F.E.M. ont pris un risque calculé qui a permis de gagner du temps et ont ainsi apporté une contribution très intéressante et originale à la technique des plates-formes de forage en mer.

M. le Président se fait l'interprète de tout l'auditoire pour joindre ses compliments à ceux que M. COIRAL vient d'adresser à M. RORET et à ses collaborateurs.

