**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

**Band:** 10 (1976)

**Artikel:** Structures off-shore métalliques en Mer du Nord

**Autor:** Roret, J. / Ciolina, F.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-10442

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 12.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Structures off-shore métalliques en Mer du Nord

Off-shore Bauwerke in der Nordsee

Off-shore Structures in the North Sea

J. RORET — Directeur
F. CIOLINA — Chef Département Etudes
Compagnie Française d'Entreprises Métalliques
Paris, France

L'exploitation de champs pétroliers dans la zone du plateau continental sous-marin, s'est considérablement développée notamment en Mer du Nord, depuis dix ans. Un tel essor n'a été possible que par la mise au point de structures permettant de remplir les différentes fonctions nécessaires :

- forage d'exploration
- exploitation, forage de production, traitement
- logement du personnel, stockage éventuel
- chargement - torche
- évacuation des produits par conduites

Les structures métalliques ou mixtes acier - béton, doivent offrir des plans de travail convenables avec des stockages de produits divers pour éviter des rotations trop nombreuses des bateaux de service.
Il en résulte que pour des charges données, réparties suivant certains critères fonctionnels (tenant compte des règles de sécurité), le support doit résister aux actions très agressives du vent (vitesse pouvant atteindre 200 Km/H) et de la houle (creux de 30 m), tout en assurant des déplacements limites pour le bon fonctionnement des liaisons entre le pont et les puits ou éléments posés sur le fond de la mer.

Les entreprises, engenieries ou organismes publics français ont pris une part importante dans cette aventure de la recherche du pétrole en mer.
L'article qui suit a pour but de montrer l'originalité de certaines réalisations métalliques françaises en mer. Il n'est pas inutile de souligner que cet effort n'a été couvert de succès que grâce à un certain nombre de techniques annexes, comme celles développées par la Société COMEX pour la pénétration de l'homme sous la mer par 350 m de fond, ou par des sociétés spécialisées dans les systèmes électroniques ou d'automation.

## 1 - PLATES-FORMES DE PROSPECTION DITES SEMI-SUBMERSIBLES

Celles-ci ont pour objet de permettre des forages de reconnaissance par des fonds de 100 à 200 m. La charge variable est de l'ordre de 2 000 T, les conditions de forage nécessitent un pilonnement limité à 5 m avec des rotations de roulis limitées à ± 2°.

En 1969, l'I.F.P. (Institut Français du Pétrole) et la Société FOREX NEPTUNE en liaison avec la C.F.E.M. et SOGREAH, ont abouti à une structure dite PENTAGONE comportant cinq flotteurs sur un cercle de 80 m de diamètre. L'avantage est que, quelle que soit la direction de la houle incidente, l'amplitude des mouvements observés est faible.
Le premier exemplaire PENTAGONE 81, est sorti en Juillet 1969 des chantiers C.F.E.M. et depuis cette date, il a travaillé en Golfe de Gascogne et en Mer du Nord.
Sur une période de 6 ans, cette plate-forme a eu un rendement de 95,4 % déduction faite des périodes d'entretien et de déplacement. De plus, elle a subi des vagues de 26 m de creux sans aucun dommage.
Les déplacements de la plate-forme varient entre 15 000 et 20 000 Tonnes.

Actuellement, 11 plates-formes de ce type sont sorties ou vont sortir des chantiers français ou étrangers et en particulier de ceux de C.F.E.M.

### 1.1) Description de la PENTAGONE (Figure I) (Figure 2)

Le poids lège de la plate-forme est 8 850 Tonnes et le volume de carène est 20 380 M3. La période propre de pilonnement est supérieure à 19 S. La période d'équilibrage est de 17 Secondes.
L'amplitude du mouvement pour des houles de période plus courte ne dépasse pas le tiers du creux de houle et

Le tirant d'eau en cours de forage est de 22 m, mais en cours de transit il n'est que de 7,50 m. Pour cette dernière configuration la prise au courant n'est que de 25 Tonnes pour une vitesse de remorquage de 2 noeuds.
Par ailleurs, sur les modèles les plus récents 2 propulseurs fixes de 2 000 CV et 1 propulseur orientable à l'avant de 750 CV permettent de réduire la puissance de remorquage.

En cours de forage, les lignes d'ancrage au nombre de 10 sont uniquement constituées de câbles de diamètre 75 mm (et non de chaînes) de 1 700 m de longueur (chaque ancre pesant 18 Tonnes). Cette solution permet :

- de réduire le poids des éléments d'ancrages
- d'en faciliter la manutention

Dans le détail, on peut signaler que les flotteurs sont formés par une pile de 8,5 m encastrée dans un flotteur torique, certains étant munis de propulseurs.

L'entretoisement des cinq flotteurs est spatial. Un premier plan de liaison horizontal permet de relier les colonnes des flotteurs.
Par ailleurs, des entretoises formant des tetraedres supportent le tablier dont l'épaisseur atteint 6,50 m. Ce dernier comporte 3 niveaux.
A la partie supérieure, on trouve la plate-forme hélicoptères, les grues de bord (deux grues permettant de lever 20 Tonnes à 16 m, deux autres grues permettant de lever 4 Tonnes à 16 m) et un derrick de 49 m de haut (11 x 11 m à la base). Cet ensemble abrite un équipage de 80 personnes.

Les problèmes de construction méritent une brève description.

Les flotteurs sont préfabriqués en usine, entièrement munis de leurs équipements (pompes et tuyaux) et mis à l'eau par lancement sur le Rhin à LAUTERBOURG.

Les éléments d'entretoises sont préfabriqués ainsi que les poutres constitutives du pont et les noeuds.

L'ensemble est acheminé sur un chantier d'assemblage à flot. Dans un premier temps, les flotteurs sont reliés par un plan de contreventement horizontal. Cette première phase suppose un plan d'eau abrité.
Les éléments inclinés des entretoises sont montés ensuite grâce à un ponton grue. Ce dernier sert finalement à la mise en place des éléments de substructure du pont.
Après ces opérations, l'équipement du pont est mis en place à une hauteur de 30 m au dessus du plan d'eau.

La plate-forme PENTAGONE, comme toute plate-forme de son type, malgré ses performances, nécessite l'emploi de lignes d'ancrages dont l'importance devient très grande dans des fonds marins de plus de 300 m.
D'autre part, dans les zones soumises à l'action des glaces (Alaska par exemple), la modification des systèmes d'ancrages classiques s'impose.
En 1971/1972, l'I.F.P., C.F.E.M. et FORAMER ont mis en commun leurs expériences pour mettre au point le projet d'une plate-forme à positionnement dynamique. Rappelons que FORAMER et C.F.P. (Compagnie Française des Pétroles) avaient mis au point et fait construire un bateau de forage à stabilité améliorée et à positionnement dynamique le "PELICAN", les forages pouvant atteindre des fonds de 1 000 m.

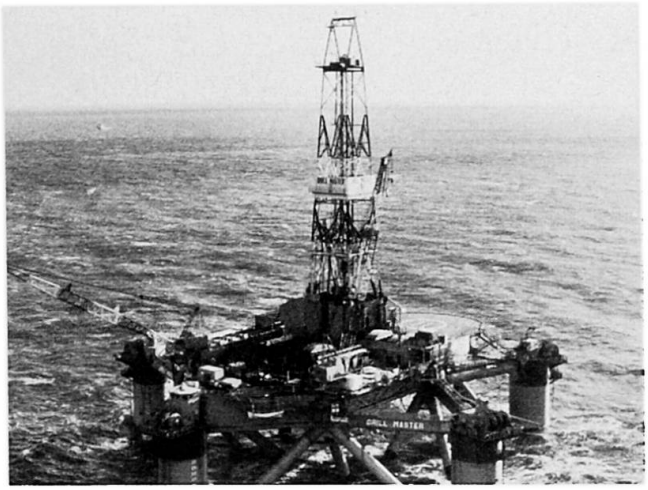

Figure I - PENTAGONE en cours de forage

Figure 2 - Noeud et flotteur de PENTAGONE

1.2) Description de la DYPOSEMI (Figure 3)

Les conditions imposées étaient les suivantes :

- forage possible avec des courants de 2 à 3 noeuds, des vagues de 15 m et de période 12 s (la vitesse du vent étant de 60 à 65 noeuds)
- mise en station (sans forage) avec des vents de 80 noeuds
- tenue limite : tempête correspondant à des vents de 120 noeuds houle de 32 m (période 15 à 16 S)

Les études de comportement sous l'action de la houle menées au S.T.C.A.N. (Bassin des Carènes de la Marine Nationale de Paris) sur une maquette au 1/20, ont permis de confirmer le bien fondé des calculs et dimensionnements.
D'autre part, des essais de propulsion sur une maquette au 1/19 ont permis de montrer que la vitesse de la plate-forme est de 10 noeuds avec une puissance développée de 12 000 CV.

L'ensemble est formé par 3 piles - flotteurs, placés au sommet d'un triangle de 80 m de côté, reliés par un entretoisement servant d'appui à un tablier de forme torique (71 m de diamètre).
Cette forme a l'avantage de limiter la prise au vent et de rendre l'ensemble anisotrope.

Les flotteurs ont un diamètre de 14 m et une longueur de 54 m. La section du flotteur a été dessinée pour limiter les formes profilées, tout en limitant la puissance nécessaire des propulseurs. La partie inférieure est équipée de deux propulseurs orientables de 2 000 CV chacun. La partie arrière comporte un propulseur principal de 4 000 CV.

Les piles d'une hauteur de 25 m et de 12,5 m de diamètre, permettent un bon encastrement mécanique pile - flotteur et une circulation convenable jusqu'aux zones vitales des flotteurs.

La hauteur du tablier est de 9 m. L'équipement du triple pont a été particulièrement analysé au niveau de l'architecture et du confort des équipes à bord. Au total, le pont offre une surface de 11 000 M2, l'équipage à bord étant de 110 personnes.

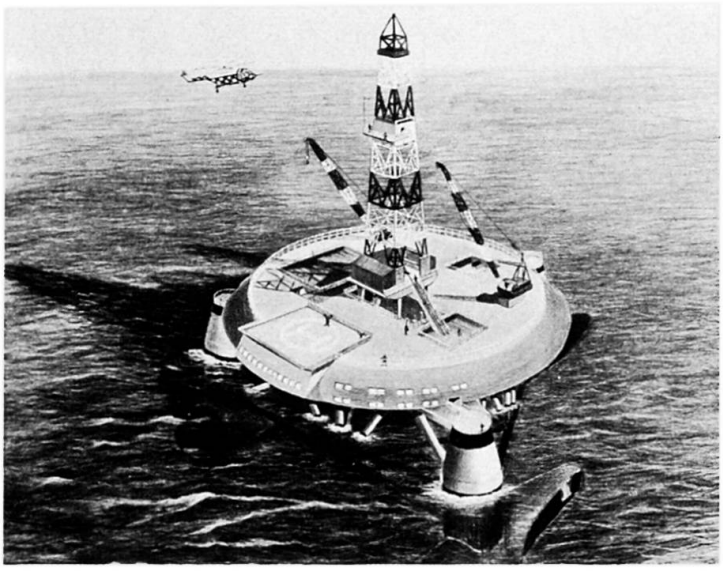

Figure 3 - Plate-forme DYPOSEMI

La plate-forme d'un poids de charpente de 8 500 Tonnes a un tirant d'eau en forage de 25 m (le déplacement étant de 24 500 T). Les charges variables (tubes, tiges de forage "risers", baryte et ciment), sont de 2 825 Tonnes et le stockage en fuel est de 3 000 T.

Le positionnement dynamique comprend :

- un repérage par moyen acoustique, un émetteur étant au fond et 3 récepteurs étant sous les flotteurs.
  Eventuellement, on peut utiliser un inclinomètre.
- des calculateurs permettant de coordonner l'action des propulseurs, l'objectif étant de maintenir la plate-forme cap au courant, les oscillations étant fortement limitées.

1.3) Plate-forme DYNACAT (Figure 4)

Pendant la même période, la Société FOREX NEPTUNE a développé un projet de plate-forme semi-submersible à catamaran. Cette structure d'un poids de 8 550 Tonnes est capable de transporter 3 950 T d'équipement.

Les flotteurs ont 119 m de long et une section de 14 x 6,70 m. Ces derniers sont solidaires du pont par l'intermédiaire de 6 colonnes de 9,40 m de diamètre. La hauteur totale de la plate-forme est de 40 m environ.
Chaque flotteur, spécialement étudié sur le plan hydrodynamique, est équipé de 2 propulseurs arrière de 2 000 CV et de 2 propulseurs orientables de 1 500 CV. Le système de positionnement dynamique est commandé par un calculateur.
En période de transit, des vitesses de 10 noeuds (puissance 8 000 CV) conduisent à des consommations de fuel de 38 Tonnes/Jour.

Le comportement de l'engin en cours de forage (24 m de tirant d'eau) est également bon et en cas d'avarie de 2 compartiments des colonnes, l'inclinaison de la plate-forme ne dépasse pas 15°.

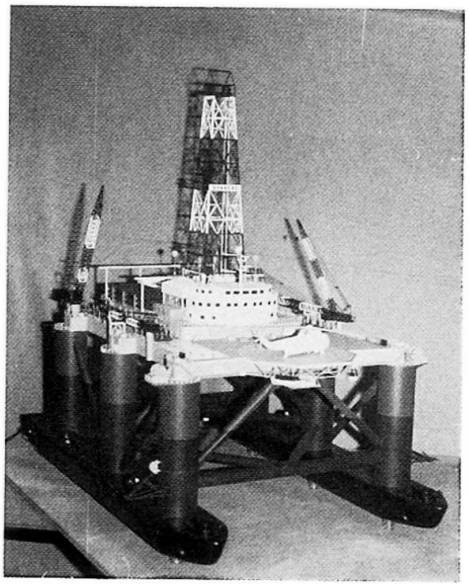

Figure 4 - Plate-forme DYNACAT

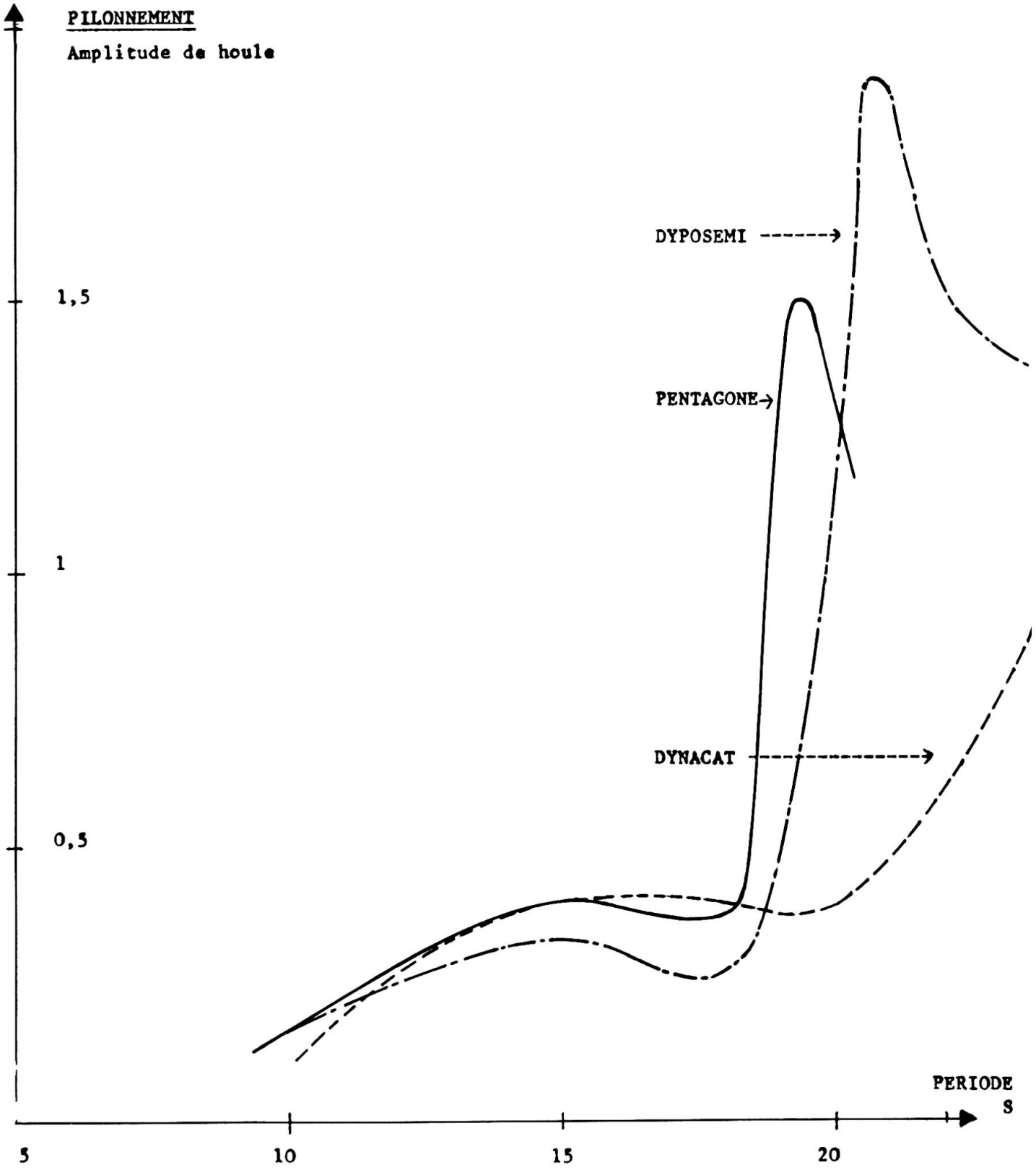
PILONNEMENT
Amplitude de houle
1,5
1
0,5
DYPOSEMI
PENTAGONE
DYNACAT
PERIODE
S
5
10
15
20

Figure 5

## 2 - PLATES-FORMES AUTO-ELEVATRICES (Figures 6 et 7)

Ce type d'engin est constitué par une plate-forme de travail, placée sur des "pattes" servant d'appui sur le fond en cas de forage. Fréquemment utilisés sur les côtes américaines ou africaines, des modèles résistant aux conditions climatiques particulièrement sévères de la Mer du Nord, ont été mis au point par la Société ETA. Deux exemplaires classe Europe sont en cours de construction dans les usines et chantiers de C.F.E.M.
Elles permettent un travail de forage par fond de 100 m.
Pour la première fois des aciers à limite élastique élevée (70 Kg/mm2) sont utilisés pour la fabrication des crémaillères notamment.
L'emploi d'aciers de ce type a nécessité la mise au point :

- de procédés de soudage spéciaux
- de vérifications spéciales vis à vis des risques de fissuration ; Utilisation du critère C.O.D. (Crack Opening displacement)

Rappelons que ces plates-formes peuvent être utilisées pour des forages de reconnaissance sous des climats très variés.

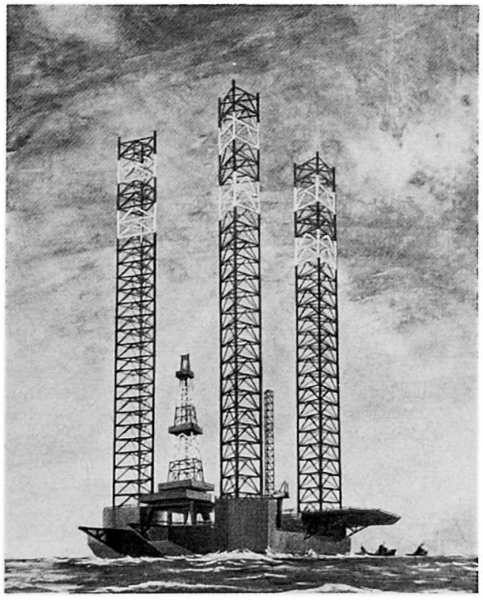

Figure 6 - Plate-forme auto élévatrice ETA

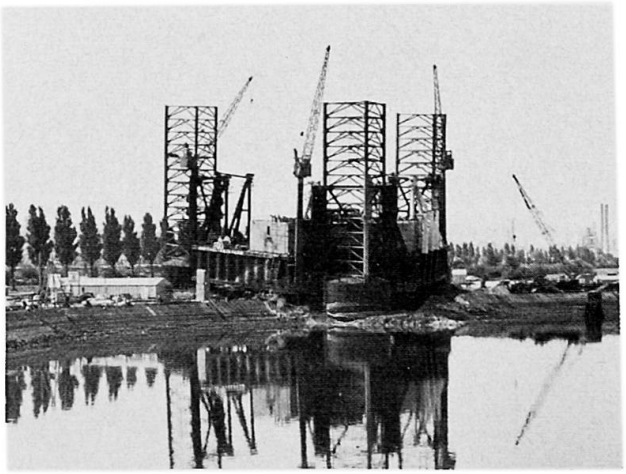

Figure 7 - Plate-forme NEPTUNE Lancement

## 3 - PLATES-FORMES D'EXPLOITATION

De nombreux types existent actuellement pour exploiter des champs pétroliers par 150 m de fond.

### 3.1) Les "Jackets"

Ces énormes tours formées de tubes rendus solidaires par soudures, ont fait l'objet de réalisations très importantes notamment par les entreprises U.I.E. (à Cherbourg) et E.T.P.M. (en association avec John LAING en Angleterre).

En général, le pont sert de support à une série de modules entreposés comme des containers grâce à l'emploi de puissants derrick barges. La Société E.T.P.M. en particulier a développé la construction de telles barges, par exemple : ETPM I60I qui est une barge poseuse de pipelines.

La conception des jackets reste cependant fortement marquée par les méthodes américaines :

- calcul des noeuds par les règles A.W.S. (American Welding Society)
- méthode de mise à l'eau sur barges
- mise en station par basculement de la barge de transport

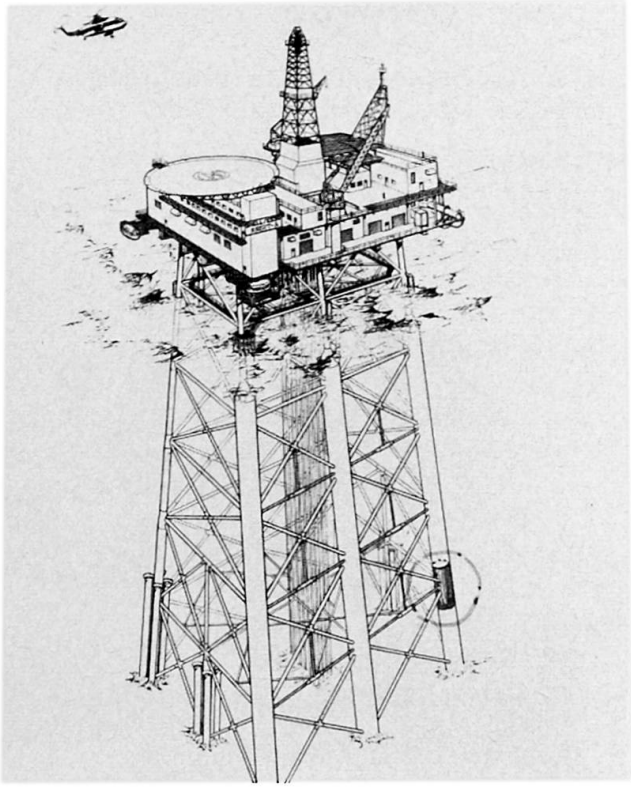

Figure 8 - Jacket de BRENT A

3.2) Les structures "poids" avec embase

Nous rappelons pour mémoire les nombreuses réalisations béton de conception française (SEA TANK CO, Howard DORIS).

Dans une plate-forme, l'acier joue un rôle non négligeable et il peut être utilisé pour la réalisation du pont ou même des colonnes. On obtient dans ces conditions, des ensembles mixtes :

- réservoir béton
- superstructures acier

L'avenir d'une telle solution est particulièrement intéressante pour des profondeurs d'eau de 200 à 300 m.

Mais les structures à embase peuvent être traitées tout acier. Un projet de conception française développé par SEAL/C.F.E.M., dénommé G.B.S. (Gravity Base in Steel) - Figure 9, permet d'allier :

- une embase réservoir en acier dont la conception est basée sur l'emploi de panneaux plans (technique classique des Chantiers navals). Celle-ci est constamment en équipression
- des colonnes circulaires en acier, reliées à un niveau intermédiaire par une entretoise permettant le remorquage de l'ensemble avec ses équipements jusqu'au lieu final d'installation et assurant une période de vibration suffisamment basse pour éviter les phénomènes de résonnance sous l'action des houles moyennes.

Un tel projet présente des avantages importants grâce au faible poids de l'ensemble (40 000 Tonnes d'acier + 15 000 Tonnes d'équipements). On peut en particulier, moduler le poids du lest final (120 000 Tonnes environ) pour avoir un coefficient valable de sécurité sur le sol. Le cas des sols liquéfiés a été particulièrement analysé.
D'autre part, le faible poids permet d'échouer la plate-forme sans avoir à utiliser des ancrages classiques d'un coût onéreux.
On peut également noter que la G.B.S. par son mode de réalisation ne porte pas atteinte à l'environnement marin ou terrestre et que sa préfabrication peut être opérée en 3 chantiers distincts permettant de réduire considérablement les délais.

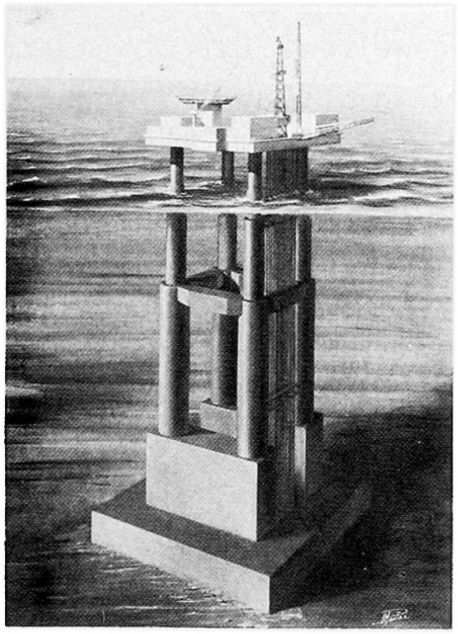

Figure 9 - Plate-forme G.B.S.

## 4 - ELEMENTS DIVERS - TORCHE, POSTE DE CHARGEMENT, PRODUCTION LIMITEE

Les produits pétroliers doivent être évacués par tankers si un pipeline n'a pas été installé.
D'autre part, des torches isolées du lieu de production peuvent être nécessaires.

Une structure originale française développée par C.F.E.M., E.M.H. et ELF, mérite d'être décrite ; Il s'agit d'une colonne liée au fond marin par un cardan, lui-même solidaire d'une embase lestée.
La partie supérieure de la colonne comporte un flotteur principal. Son rôle est d'assurer sur le site un couple de rappel suffisant pour limiter les amplitudes angulaires, statiques (effet du courant) ou dynamiques (effet de la houle).
De plus, la partie située immédiatement au dessus du cardan, dénommée caisse à lest, permet de réduire l'effort sur le cardan. Ce dernier comporte des passages de fluides (gaz ou huile), possibles notamment dans les paliers. Un joint spécial en élastomère de synthèse d'un modèle breveté, résistant aux efforts de torsion, permet d'assurer l'étanchéité absolue.

Le fût de la colonne situé entre la caisse à lest et le flotteur principal est constitué généralement par un treillis comportant 3 faces. Seul le prototype d'essai datant de 1969 avait un fût cylindrique, mais il s'agissait d'une réalisation expérimentale dans 100 m d'eau.
La solution treillis permet d'éviter des phénomènes de balourd dus à des masses internes d'eau.

3 réalisations sont actuellement en fonctionnement dans les champs pétroliers de la Mer du Nord :

- une torchère pour le champ de BRENT par 142 m de fond (Figure10)
- une torchère pour le champ de FRIGG par 107 m de fond
- un poste de chargement pour le champ de MOBERE par 118 m de fond (Figure 11)

Pour cette dernière application, la partie supérieure de la colonne est une tête tournante permettant :

- de supporter un pont Hélicoptère
- de soutenir une poutre support de flexible d'alimentation
- de subir un effort d'amarrage de l'ordre de 200 Tonnes

Les problèmes de montage en mer de ces colonnes ont été résolus grâce à des schémas originaux.

La plate-forme expérimentale a été fabriquée en 2 parties. L'embase fut coulée en place et la colonne basculée grâce à l'action de flotteurs auxiliaires. La connexion était réalisée sur site.

La plate-forme SHELL BRENT a donné lieu à un autre schéma. La connexion s'est faite dans une zone calme. L'embase était repliée sous la colonne et verrouillée à cette dernière. L'ensemble colonne + embase a été remorquée depuis Dunkerque jusqu'au champ de BRENT.
La houle exerce des efforts de fatigue très importants pendant le parcours ; en effet, l'ensemble sur le plan hydrodynamique se présente comme une verge encastrée sur l'embase. Il est donc nécessaire d'effectuer cette opération en été.

Le basculement sur site comprend les opérations suivantes :

- déverrouillage de l'embase
- ballastage partiel de l'embase
- remplissage des flotteurs auxiliaires
- pose sur le fond en remplissant partiellement le flotteur principal
- remplissage du flotteur d'embase

Enfin les colonnes FRIGG et MOBIL ont été remorquées en éléments séparés jusqu'à STAVANGER en Norvège. Là, deux opérations ont été réalisées :

- la connexion de l'embase
- le basculement de l'ensemble

Une opération de remorquage de la colonne verticale avec des tirants d'eau > à 10 m a permis la mise en place malgré un temps très médiocre.

| | Poids Embase | Poids Treillis | Flotteur principal | Tête |
|---|---|---|---|---|
| SHELL | 430 T | bas 205 T<br>haut 85 T | 153 T | 20 T |
| FRIGG | 5I0 T | 104 T | 225 T | 30 T |
| MOBERE | 670 T | 261 T | 305 T | 220 T |

Les 3 opérations de mise en place ont été opérées entre le 18 Aout et le 12 Octobre I975 réalisant une première mondiale de mise en place de plate-forme en automne en Mer du Nord.

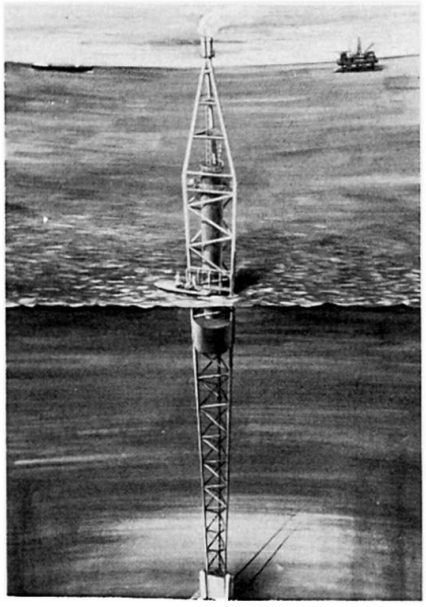

Figure 10 - Torchère SHELL BRENT en place

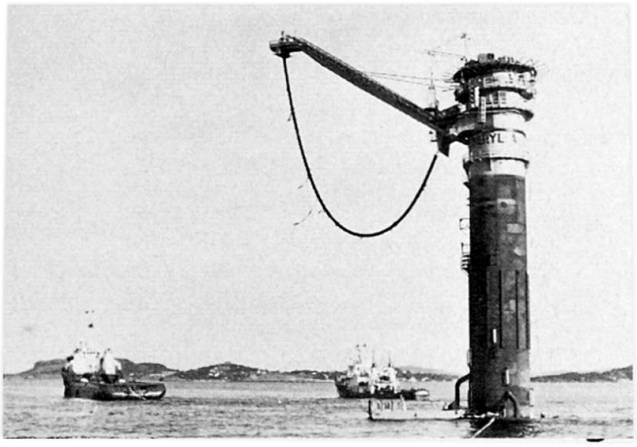

Figure 11 - Poste de chargement MOBIL en place

Ces réalisations très encourageantes ont conduit à mettre au point :

- des projets de colonnes de chargement grande profondeur (180 m) Le poids total de l'engin atteint alors 5 000 Tonnes
- des projets de colonnes de traitement, les séparateurs superposés verticalement sont placés en tête. Toutes les installations nécessaires conduisent à des charges supérieures très élevées (800 T colonne production)
- des colonnes récupérables à terme grâce à des systèmes de câbles guides associés à une plaque de connexion fixée sous le cardan.

## 5 - CONCLUSIONS

Toutes les structures décrites ci-dessus montrent l'apport important de l'ingenierie française dans le développement des champs off-shore de la Mer du Nord. Les succès remportés devraient permettre une extension des applications au cas d'autres rivages du globe.

Des études sont en cours de développement pour des profondeurs supérieures.

RESUME

Le présent article montre un panorama rapide des structures métalliques conçues et réalisées par différentes sociétés françaises.

Pour les différentes fonctions à réaliser sur un champ pétrolier off-shore, des créations originales sont présentées:

- plates-formes à positionnement dynamique
- plates-formes à embase poids acier
- colonnes articulées

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht gibt einen raschen Ueberblick über Stahlkonstruktionen, die durch verschiedene französische Firmen entworfen und erbaut wurden.

Für die verschiedenen im Erdöl-Off-Shore-Bereich erforderlichen Einrichtungen werden einige originelle Entwürfe dargestellt:

- dynamisch gesteuerte Plattformen
- Plattformen mit Stabilisierung durch das Stahl-Eigengewicht
- Gelenkstützen

SUMMARY

This paper presents a quick description of the metallic structures designed and fabricated by some French companies.

Original creations are presented for the different needs of an off-shore field development:

- Dynamically positioned semi-submersibles
- Gravity structures all in steel
- Articulated columns