

# Ancrage dynamique des navires, plates-formes ou autres supports flottants

**Hubert Fay**

Division des Techniques de forage et de production  
Institut Français du Pétrole

## Présentation de l'ancrage dynamique

Le but de l'ancrage dynamique est, avant tout, de maintenir un support flottant (navire, barge, plate-forme...) au voisinage d'un point de référence (par exemple à la verticale d'un puits de forage) ou encore d'asservir la position du support sur une trajectoire prédéterminée. Le principe consiste à opposer en permanence à la résultante des actions perturbatrices (vent, courant, houle ou autre élément) la réaction de propulseurs ou de tout autre système actif. Les écarts du

support par rapport à la position désirée sont détectés, puis transmis à un calculateur qui les répartit sur les propulseurs après correction et optimisation.

Historiquement les premières réalisations expérimentales datent de 1961, en ce qui concerne les Etats-Unis, avec les navires de carottage Eureka et Cuss 1 (construit dans le cadre du projet Mohole), et de 1964 en ce qui concerne la France avec un navire de 800 tonnes, le Térébel. Depuis cette époque le tonnage et la diversité des supports flottants équipés d'un système d'ancrage dynamique n'ont cessé de croître. Le tableau suivant indique quelques réalisations particulièrement significatives.

Tableau 1

année de construction	Support	déplac. moyen (tonnes)	Missions	Utilisateur
1964	Caldrill 1	1 200	carottage – forage	Etats-Unis
1966	Toucan	700	reconnaissance minière	Indonésie
1968	Glomar Challenger	11 000	navire océanographique (projet Joides 1964)	Etats-Unis et principaux pays industrialisés
1972	Pélican	15 000	navire de forage	France
1975	Seaway Falcon	3 700	lutte contre le feu support de plongée	Norvège
1976	Flexservice 1	11 000	pose de flexibles	Norvège-France
1977	Uncle-John	9 000	support de plongée maintenance des installations sous-marines	

Si donc les Etats-Unis et la France ont eu un rôle de pionnier, d'autres pays à vocation maritime comme la Norvège ou la Grande Bretagne les ont rejoint aujourd'hui. Actuellement une vingtaine de supports, dont dix sont des navires de forage, sont équipés du système d'ancrage dynamique. D'autre part le nombre de commandes fermes est de quinze, dont onze navires de forage.

## Différentes parties d'un ancrage dynamique

Le principe de réalisation de l'ancrage dynamique se présente a priori de manière relativement simple, puisqu'il suffit de disposer de capteurs, qui déterminent à chaque instant l'écart entre la position réelle du support et la position désirée et dont les informations sont introduites dans un calculateur, ce dernier élaborant les ordres destinés aux propulseurs. Ainsi pour un support donné il s'avère nécessaire de mettre en œuvre les différentes parties suivantes :

- un ensemble de capteurs
- un système propulsif
- un ensemble de commande et de contrôle.

Ces différentes parties sont reliées entre elles pour constituer trois chaînes d'asservissement (cf. figure 1) que l'on suppose parfaitement découplées.

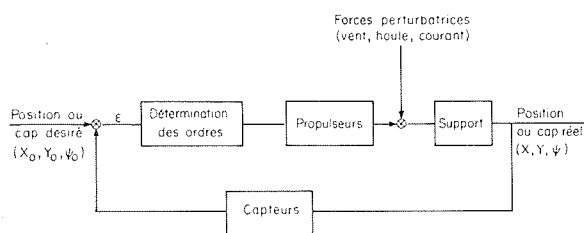


Figure 1 — Schéma fonctionnel des chaînes d'asservissement en position de l'ancrage dynamique.

Chacune de ces chaînes correspond à l'une des trois grandeurs suivantes :

- la position suivant l'axe longitudinal du support (cavalement)  $X$
- la position suivant l'axe transversal (embarquée)  $Y$
- la valeur du cap  $\psi$

la position du support est ainsi définie à chaque instant dans un plan horizontal.

## Support flottant

C'est la nature des missions à remplir (recherche géologique, carottage, forage, support de plongée ou d'intervention...) ainsi que la zone géographique des opérations qui définissent le plus souvent le type de support souhaitable. Mais vis-à-vis du responsable de la définition du système d'ancrage dynamique, le projet peut se présenter de deux manières bien différentes. Ou bien il s'agit d'équiper un support déjà existant et l'adaptation se fera tant bien que mal au détriment du rendement et des résultats de tenue en station ; ou bien il est possible de définir le type de support, ce qui

permet d'optimiser le dit support en fonction des missions, avec toute l'aide que peut apporter dans ce cas l'expérience humaine et les essais sur modèles (en bassin ou en soufflerie).

Le support peut se présenter sous la forme d'un navire, d'une plate-forme semi-submersible, d'une barge de pose de pipe-line ou d'autres supports flottants ou submersibles. Le tonnage n'est pas limité, il varie actuellement entre 1 000 et 15 000 tonnes pour les navires et atteint 25 000 tonnes dans le cas des plates-formes semi-submersibles. La figure 2 représente le Pélican, navire à ancrage dynamique de 15 000 tonnes.

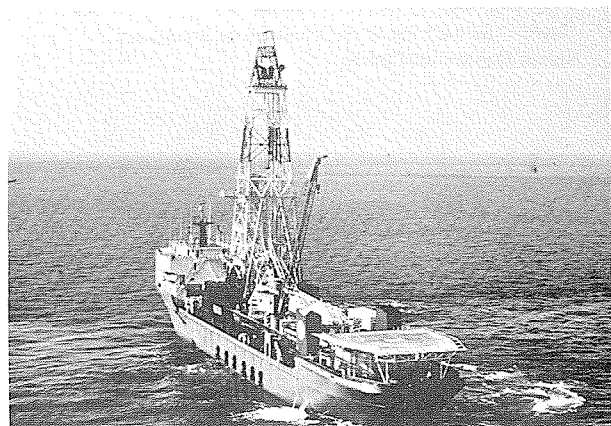


Figure 2 — Le "Pelican" navire de forage de 15 000 tonnes

## Ensemble des capteurs

On peut distinguer deux catégories de capteurs, les premiers servant à la localisation du support et les seconds à améliorer la précision de la tenue en position.

### Capteurs de localisation

L'indication de la valeur du cap est obtenue en général en utilisant une recopie du gyrocompas équipant le support.

Par contre, l'indication de la position dans un plan horizontal peut être obtenue à partir de systèmes très différents quant à leur principe. Un premier système fort simple et qui a été utilisé dès les premières expérimentations est constitué par un câble tendu entre un corps mort se trouvant au fond de la mer et un treuil à tension constante situé à bord du support. Sur ce câble est placé un système inclinométrique, qui détecte les écarts angulaires dans deux plans verticaux orthogonaux et donc, pour une profondeur d'eau donnée, la position dans un plan horizontal. D'autres capteurs utilisent les ondes acoustiques. Dans ce cas il s'agit de mesures de triangulations avec, ou bien un émetteur-récepteur acoustique situé sous la coque du support interrogeant au moins trois balises situées sur le fond, ou bien inversement une seule balise sur le fond et plusieurs hydrophones sous la coque du support. Pour ces deux configurations il s'agit toujours de mesurer les différences de temps de parcours correspondant aux chemins acoustiques pris en compte. Une centrale de verticale permet de compenser les mou-

vements de roulis et de tangage du support. Il existe enfin de nombreux capteurs de localisation utilisant les fréquences radio ou radar. La précision de ces systèmes est de l'ordre du mètre et suffit donc à l'ancrage dynamique. Par contre le repérage de la position à l'aide de satellites ne donne pas actuellement une précision instantanée suffisante.

#### *Capteurs améliorant la précision de l'ancrage*

Des anémomètres détectent l'influence du vent sur le support et permettent de contrer plus efficacement l'action de ce dernier. De même, différents capteurs, comme par exemple les sonars doppler, détectant les vitesses des déplacements horizontaux, permettent d'améliorer la précision de la tenue en position.

#### **Système propulsif**

Il s'avère tout d'abord nécessaire de déterminer les poussées que doivent pouvoir développer les propulseurs de l'ancrage dynamique afin de s'opposer aux actions des efforts extérieurs. Ceux-ci correspondent principalement aux forces dues à la houle, au vent et au courant. Ensuite il devient possible de choisir le type et l'emplacement de ces mêmes propulseurs.

#### *Détermination de la puissance nécessaire à l'ancrage dynamique*

En ce qui concerne la détermination de l'action de la houle, il faut remarquer que celle-ci se présente sous deux formes bien distinctes, ayant pour résultat :

- un ensemble d'efforts aléatoires
- une valeur constante (pour une houle donnée) appelée force de dérive.

Le premier type d'efforts conduit à un mouvement aléatoire du support, dont les écarts de position qui en résultent sont en général de l'ordre de quelques mètres et ne sont pas annulés par les propulseurs de l'ancrage dynamique. Ceci entraînerait en effet une dépense d'énergie considérable et une fatigue prématurée du matériel. En ce qui concerne le second type d'efforts, différentes formulations mathématiques permettent d'en calculer les valeurs. A titre d'exemple, pour un navire de 11 000 tonnes de déplacement subissant une houle de travers de hauteur significative de 2,4 m et de période 7 s, la valeur de la force de dérive atteint 30 tonnes.

Il est de même possible de déterminer l'effort dû au courant sur une coque, en utilisant la formule classique dans laquelle la vitesse du courant intervient au carré :

$$F = \frac{1}{2} \rho S C V^2$$

$\rho$  : masse spécifique de l'eau

$S$  : maître couple de la carène suivant un plan perpendiculaire à la direction du courant.

Le point le plus délicat réside dans le choix de la valeur du coefficient de traînée  $C$ , valeur qui dépend principalement de la forme de la carène. L'ordre de grandeur de la vitesse des courants à prendre en compte

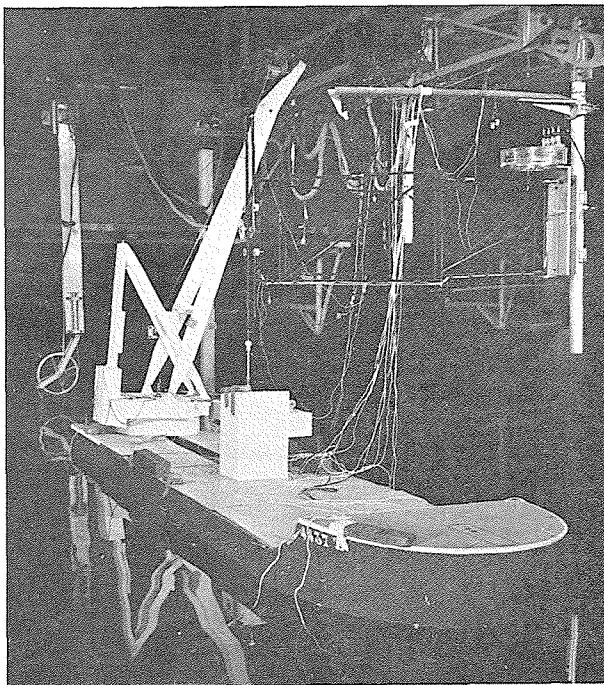


Figure 3 — Maquette utilisée pour des essais hydrodynamiques

atteint 2 à 3 nœuds. Ainsi pour un navire de 2 200 tonnes subissant un courant de 2 nœuds par le travers, l'effort correspondant est d'environ 10 tonnes.

Entre les calculs précédents, purement théoriques, et les essais en vraie grandeur (pratiquement impossibles dans le cas de l'ancrage dynamique, ne serait-ce que du fait du prix de revient) existe un moyen terme, représenté par des essais sur maquettes et permettant l'obtention de la valeur des efforts proche de la réalité. Ces essais ont lieu dans les domaines hydrodynamiques et aérodynamiques et utilisent tous les nouveaux moyens mis en œuvre depuis quelques années tant en France qu'à l'étranger. La figure 3 montre la maquette d'une barge de pose de pipe-line équipée d'une grue. De tels essais permettent d'obtenir, en plus de la valeur des efforts dus au courant et à la houle, les périodes propres d'oscillation du support (roulis, tangage, pilonnement), les mouvements linéaires et angulaires suivant les axes du support, ainsi que la valeur des coefficients hydrodynamiques d'amortissement nécessaires à une éventuelle modélisation mathématique.

Quant aux essais aérodynamiques, permettant une approche des efforts dus au vent, ils peuvent être effectués dans une soufflerie classique. La simulation de la couche limite atmosphérique s'effectue en réalisant un gradient vertical de vitesse. Les résultats obtenus sont plus restreints que dans le cas des essais en bassin, puisqu'ils ne concernent que les efforts et moments, mais non les mouvements.

#### *Choix des propulseurs*

Disposant ainsi de la valeur des efforts extérieurs, il est possible de choisir l'ensemble des propulseurs, dont les poussées devront s'opposer aux dits efforts. Les valeurs des poussées spécifiques des propulseurs d'ancrage sont en général comprises entre 100 et 140 N/ch suivant



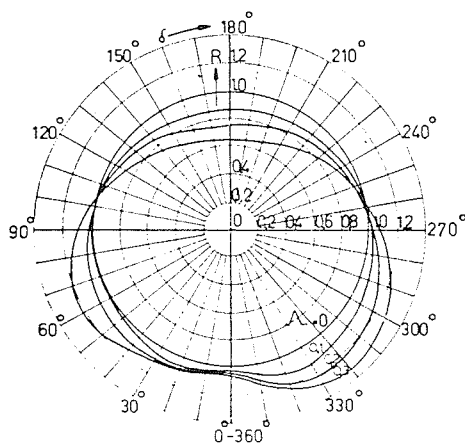
le type de propulseur et les conditions d'emploi.

Les principales qualités requises pour ces propulseurs correspondent à une poussée spécifique élevée, la possibilité éventuelle d'orienter la poussée dans un temps minimal quelque soit l'azimut, un dosage continu de cette même poussée et, en faisant intervenir le moteur d'entraînement, un temps de réponse minimal.

Il convient de noter, avant d'énumérer les principaux types de propulseurs d'ancrage, que les propulseurs de route (propulseurs principaux), étant de toute façon implantés sur le support, peuvent être aussi utilisés s'ils ont été choisis afin de pouvoir intervenir dans l'ancrage dynamique (temps de réponse faible). Ils sont souvent indispensables dans le cas de conditions météorologiques d'environnement sévères.

Les propulseurs d'ancrage peuvent être installés en tunnel ; dans ce cas les hélices (généralement à pas variable) sont logées au milieu de cylindres situés dans la coque du support. Les axes de ces cylindres sont perpendiculaires au plan longitudinal du support. La puissance correspondant à ce type de propulseurs atteint couramment 1.800 ch. Du fait de la nécessité de disposer d'une poussée réversible (babord ou tribord) les pales des hélices sont symétriques et la poussée spécifique atteint au mieux la valeur de 100 N/ch.

Cependant le premier type de propulseur à avoir été utilisé pour l'ancrage dynamique correspond aux propulseurs orientables. Ceux-ci sont dans ce cas installés sous la coque du support ; l'axe des hélices devant être horizontal la solution impose au moins un renvoi d'angle à 90° (deux dans le cas d'un entraînement par moteur diesel). L'hélice peut être équipée de pales fixes ou mobiles, être libre ou dans une tuyère. La variation de poussée est donc obtenue en faisant varier, selon le cas, soit la vitesse de rotation de l'hélice, soit le pas des pales. La tuyère permet d'augmenter le rendement des hélices aux basses vitesses d'avancement, ce qui est le



$T$  : poussée au point fixe  
 $T'$  : résultante des efforts  
 $V$  : vitesse du courant  
 $D$  : diamètre de l'hélice  
 $n$  : vitesse de rotation de l'hélice  
 $\delta$  : direction du courant par rapport à l'axe du propulseur

$$R = \frac{T'}{T} \quad \Lambda = \frac{V}{nD}$$

Figure 5

cas de l'ancrage dynamique. La figure 4 montre la réalisation d'un propulseur de 2 000 ch., dont l'hélice est à pales fixes sous tuyère. L'entraînement en gisement de l'ensemble hélice-tuyère se fait par des moteurs électriques situés dans la capsule. L'entraînement de l'hélice est assuré par un moteur électrique à courant continu.

La figure 5 correspond, pour un propulseur orientable, au diagramme polaire de la résultante des poussées en fonction d'un courant (faisant un angle  $\delta$  avec l'axe du propulseur) et de la vitesse du même courant.

Les courbes précédentes ont été établies pour un propulseur Schottel.

Les propulseurs orientables peuvent être rétractables ou non, à ce jour leur puissance maximale atteint 4 000 ch. La poussée spécifique correspondante peut atteindre la valeur de 150 N/ch.

Les propulseurs cycloïdaux forment le dernier type dont il sera fait mention ici. Ils sont constitués par un rotor circulaire tournant à vitesse constante et équipé de pales verticales (4 ou 6) dont l'incidence et la phase varient périodiquement au cours de leur mouvement de rotation propre. La direction et l'intensité de la poussée sont réglables indépendamment et rapidement en agissant sur les deux grandeurs incidence et phase. La figure 6 représente une réalisation de ce type de propulseur.

La poussée spécifique est supérieure à 100 N par cheval. Mais l'implantation de ce type de propulseurs pose un problème délicat.

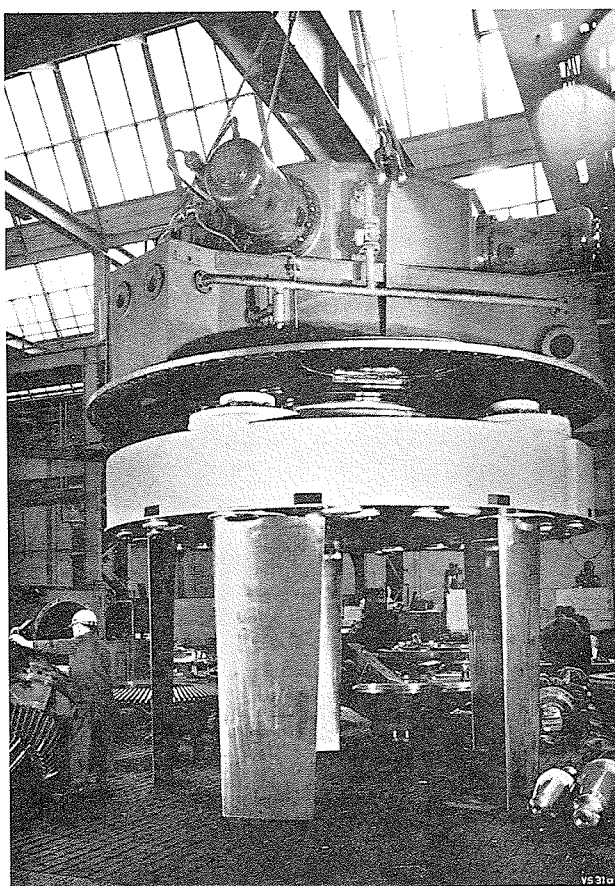


Figure 6 — Propulseur cycloïdal

Sur un support flottant il est possible d'installer, soit le même type de propulseurs, soit des propulseurs de types différents. D'autre part pour certains supports à ancrage dynamique les propulseurs de route ont été supprimés et ce sont les propulseurs d'ancrage qui assurent la navigation.

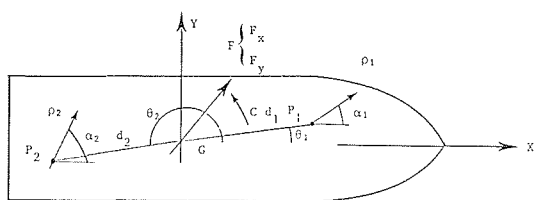
### Ensemble de commande et de contrôle

La complexité de ces fonctions nécessite l'emploi d'un ordinateur qui doit effectuer plusieurs tâches :

- coordonner la transformation et le filtrage des signaux fournis par les différents capteurs,
- répartir les valeurs des poussées en fonction du nombre de propulseurs disponibles,
- optimiser la puissance dépensée à chaque instant,
- fournir au responsable de l'ancrage une situation claire de la position, lui signaler les défauts de tel ou tel sous-ensemble ainsi que toute autre donnée utile,
- lui permettre de reprendre la commande manuelle de l'ancrage à tout moment,
- apporter éventuellement une aide lors de la navigation ou de l'approche d'un site,
- localiser une tourelle de plongée ou un engin sous-marin ou encore un navire auxiliaire.

La réalisation d'un tel ordinateur se présente en pratique sous les formes numériques, analogiques ou hybrides. Il semble que la solution la mieux adaptée au cas de l'ancrage dynamique soit la forme hybride.

Les équations de base que doit résoudre le ordinateur se présentent sous la forme simple suivante dans le cas de deux propulseurs, les inconnues étant les poussées des propulseurs et leur orientation, les efforts à fournir en position ( $X$  et  $Y$ ) étant fonction des écarts mesurés suivant les mêmes directions et le couple à fournir étant fonction de l'erreur en cap. On suppose dans ce cas que l'axe vertical de rotation instantanée passe par le centre de gravité du support.



Système de forces. Cas de deux propulseurs

$$F_x = \rho_1 \cos \alpha_1 + \rho_2 \cos \alpha_2$$

$$F_y = \rho_1 \sin \alpha_1 + \rho_2 \sin \alpha_2$$

$$C = \rho_1 d_1 \sin(\alpha_1 - \theta_1) + \rho_2 d_2 \sin(\alpha_2 - \theta_2)$$

Le système correspond donc à 3 équations et à 4 inconnues ( $\rho_1, \rho_2, \alpha_1, \alpha_2$ ) ; afin de le résoudre on ajoute une relation supplémentaire. Si le nombre de propulseurs augmente, le système se complique très rapidement, d'autant plus qu'il faut prendre en compte toutes les configurations correspondant à la mise hors service de l'un quelconque des propulseurs.

### Réalisations actuelles et projets

Afin de constituer un système complet d'ancrage dynamique, il est nécessaire de représenter chacune des différentes parties précédentes, qui elles-mêmes offrent un éventail suffisamment large pour satisfaire les exigences requises de dimension, de redondance, "d'adaptabilité" et surtout de sécurité. Aujourd'hui des navires à ancrage dynamique tels que le Pélican travaillent sur des sites aussi différents que ceux du Labrador et de l'Angola, démontrant ainsi le caractère souple et opérationnel d'un tel système. De nombreuses barges et navires à ancrage dynamique sont équipés en tant que supports de plongée sous-marine. Le tonnage ne constitue pas une limitation puisque, si les premiers supports équipés de l'ancrage dynamique jaugeaient 1 000 tonnes, aujourd'hui la valeur du déplacement atteint 25 000 tonnes pour une plate-forme semi-submersible équipée aux Etats-Unis.

Le projet français de plate-forme semi-submersible à ancrage dynamique de 25 000 tonnes Dyposemi a été conçu pour être pourvu, tant sur le plan des propulseurs, des capteurs et des calculateurs, de nombreux systèmes pouvant fonctionner en parallèle. Cette redondance conduit à une excellente sécurité de l'ensemble. Sur la figure 7 ont été représentés les différents capteurs de localisation.

Il convient de signaler ici que de nombreux projets de supports flottants à ancrage dynamique et notamment le projet Dyposemi ont été étudiés à l'aide des possibilités de simulation sur ordinateur. Ces procédés permettent d'obtenir les performances que l'on est en droit d'attendre d'un tel système, avant même d'en réaliser une quelconque partie et d'effectuer des tests caractéristiques qu'il serait impossible de réaliser en pratique.

Le soin avec lequel sont élaborés les projets de supports flottants à ancrage dynamique a pour résultat une excellente disponibilité sur les sites de travail. Ainsi dans le cas du Pélican et pour la mer du Nord, le taux de disponibilité a été ces dernières années de :

- 81 % du temps en automne et de
- 64 % du temps en hiver.

### Précision de la tenue en position pour différentes configurations réelles

Théoriquement la profondeur d'eau ne constitue pas une limite pour l'ancrage dynamique d'un support. Les navires de forage des compagnies pétrolières sont équipés pour forer à travers une tranche d'eau de 1 000 ou même de 1 500 m (cas de Discover Seven Seas). En 1970 le Térébel, navire expérimental de l'Institut Français du Pétrole, a effectué des carottages par 2 500 m d'eau et le bateau était resté dans un rayon de 10 m autour de la position assignée. Depuis 1968 le Glomar Challenger a mis à jour pour sa part 36 830 m de carottes à travers des tranches d'eau de l'ordre de 4 500 m.

La précision de la position est en général de l'ordre de quelques pour cent de la hauteur d'eau. Ainsi par exemple, pour des hauteurs d'eau comprises entre 300 m et 1 000 m, on peut admettre que la précision croît de

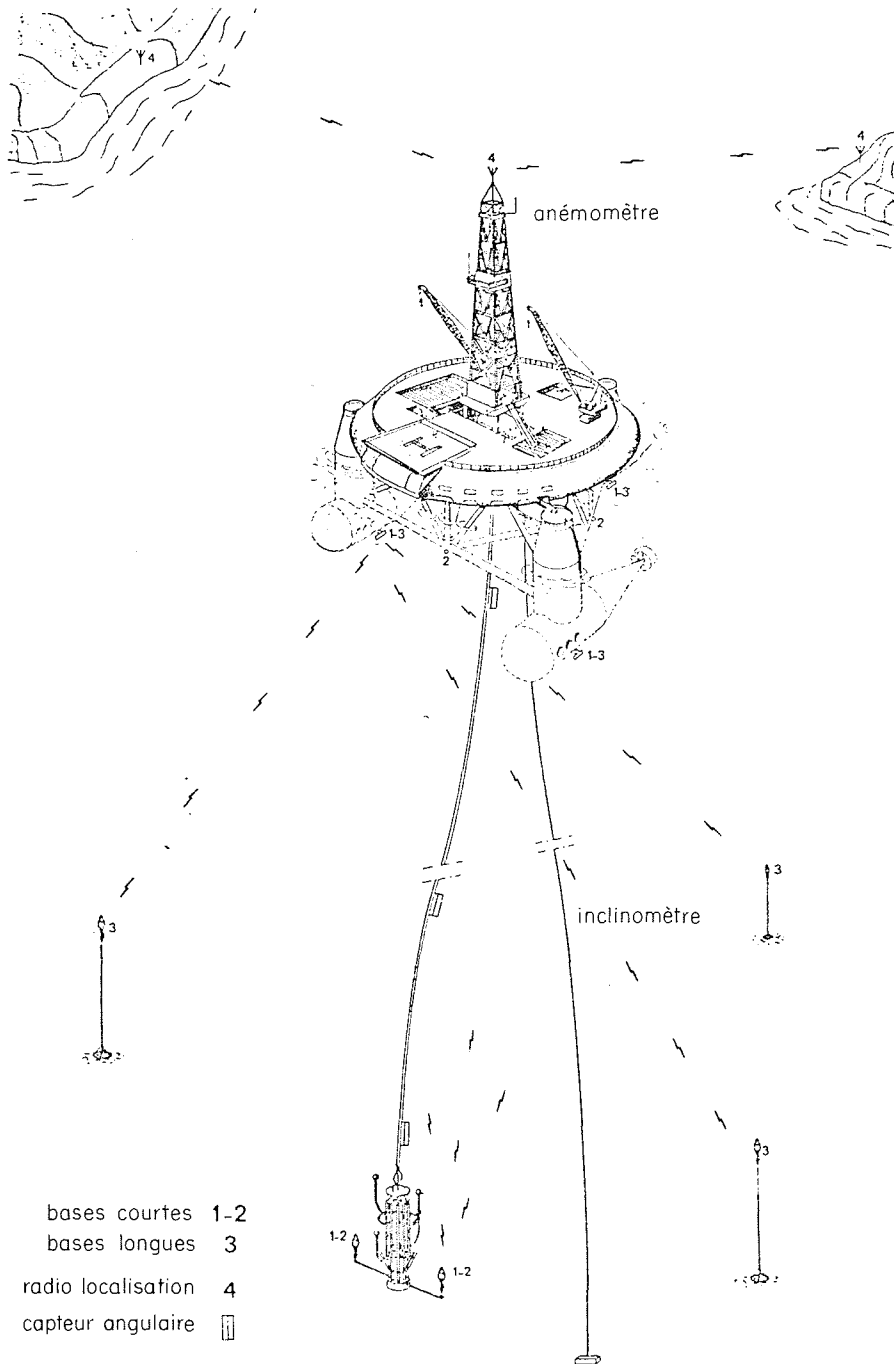


Figure 7

6 % à 3 % de la hauteur d'eau. Dans le cas du Térébel la figure 8 montre que les erreurs en position ( $X$  et  $Y$ ) restent inférieures à  $\pm 2$  m et l'erreur de cap ( $\Psi$ ) inférieure à  $\pm 3^\circ$ .

### Comparaison de l'ancrage funiculaire et de l'ancrage dynamique

L'ancrage dynamique permet une stabilisation de la position pour des profondeurs d'eau nettement plus

importantes que ne le permet l'ancrage funiculaire (1 000 m constituant actuellement la limite extrême pour ce type d'ancrage). De même la précision relative du positionnement croît en fonction de la profondeur d'eau, alors que cette précision décroît dans le cas de l'ancrage par lignes, toutes choses égales par ailleurs. Mais les atouts majeurs de l'ancrage dynamique restent sa disponibilité et une sécurité d'emploi bien supérieures. Ainsi la possibilité d'esquiver le passage d'icebergs dans les mers froides sans avoir à relever câbles, chaînes et ancres, le fait de pouvoir s'orienter face aux principaux éléments météorologiques (ce



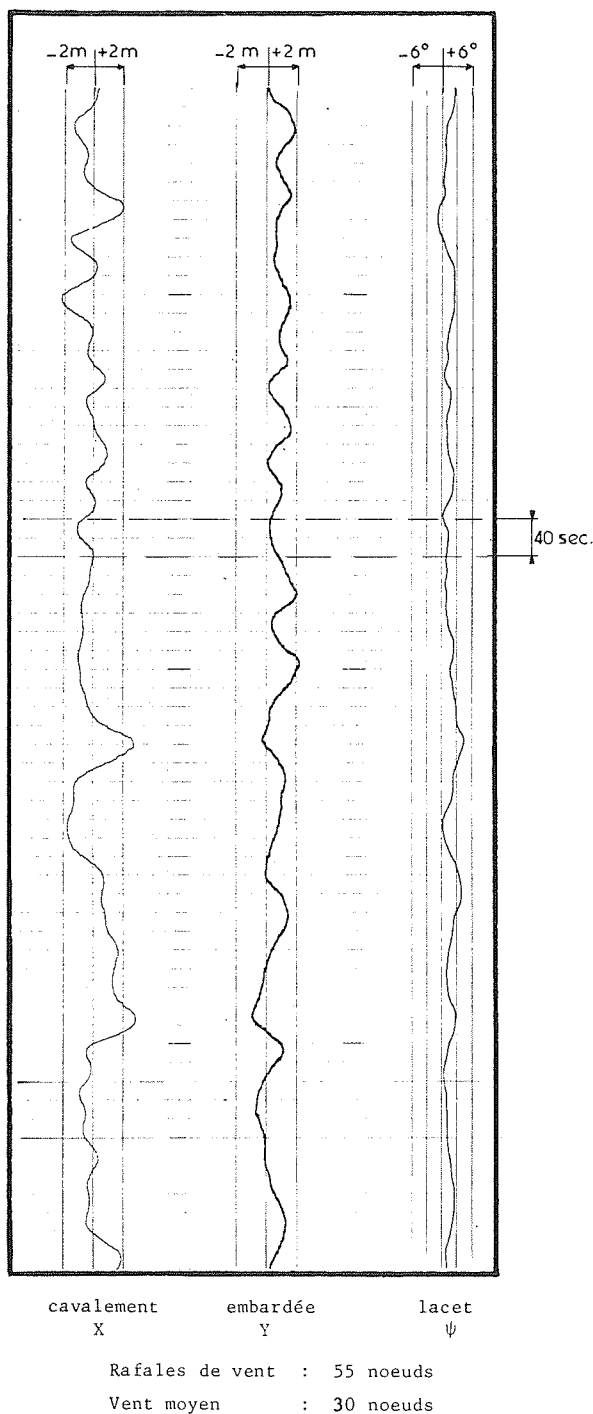


Figure 8 – Performances du navire Térébel en ancrage dynamique sur inclinomètre par 54 mètres de hauteur d'eau.

qui a pour effet de minimiser les forces extérieures et les amplitudes de roulis), la vitesse de déplacement entre deux sites de travail, l'absence de liaisons matérialisées entre le fond et la surface (avantage primordial sur des gisements sous-marins comportant des équipements et des liaisons nombreuses) donnent souvent incontestablement la préférence aux supports à ancrage dynamique, même si d'autres facteurs, comme par exemple le facteur économique, restent moins favorables.

Dans le domaine économique en effet plusieurs études ont été effectuées en vue de tenter de comparer

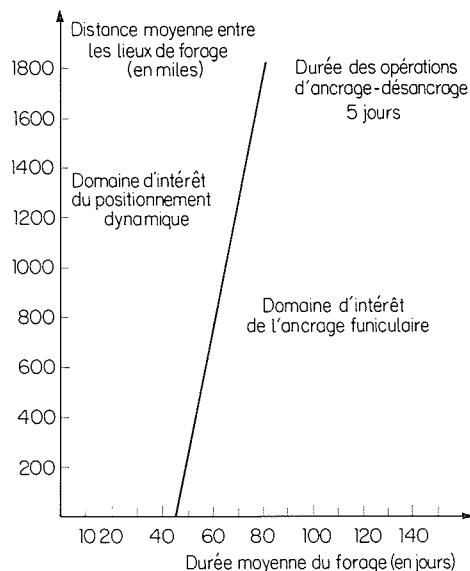


Figure 9 – Domaines d'intérêt du positionnement dynamique vis-à-vis de l'ancrage funiculaire d'une plateforme semi-submersible.

les coûts des deux procédés. Concernant les navires de forage, de tonnage compris entre 6 000 et 16 000 tonnes, certains critères ont pu être mis à jour, ainsi :

- le rapport du coût de l'ancrage dynamique vis-à-vis de celui de l'ancrage funiculaire augmente légèrement avec les dimensions du navire et décroît en fonction de la hauteur d'eau;
- l'ancrage funiculaire est plus économique dans les zones du plateau continental (jusqu'à 300 m);
- l'ancrage dynamique reprend l'avantage, pour cette hauteur d'eau, soit s'il permet de réaliser une économie de temps importante (10 jours par an pour une profondeur d'eau de 300 m), soit si sa faculté de se placer cap à la houle ou d'être indépendant de la nature du fond marin demeure un argument fondamental.

D'autres études comparatives ont été entreprises. Ainsi dans le cas des plates-formes semi-submersibles a-t-on pu distinguer les domaines relatifs d'intérêt de deux types d'ancrage, comme cela est représenté sur la figure 9 (sachant que la durée moyenne d'un forage est de 80 jours et que les distances entre deux lieux de forage peuvent varier dans des proportions importantes : 300 miles en mer du Nord à 2 000 miles en Amérique du Sud). Cette figure montre que les deux solutions techniques, possibles pour une plate-forme semi-submersible destinée au forage en mer profonde, conduisent à des coûts sensiblement égaux, compte tenu de l'incertitude avec laquelle sont connus de nombreux paramètres.

### Synthèse des principales caractéristiques de l'ancrage dynamique

Compte tenu de ce qui vient d'être présenté, les principaux points suivants peuvent être retenus :



- l'ancrage dynamique constitue une solution pratique (cas de manœuvres rapides et précises) et techniquement sûre (doublement de la chaîne de calcul, des capteurs...) pour tout problème nécessitant la stabilisation d'un support flottant,
- ce système s'impose dans les cas difficiles (mers arctiques, nécessité d'un positionnement précis, conditions de mer particulièrement sévères),
- moyennant certaines restrictions concernant la hauteur d'eau et le temps de travail, son coût par

rapport à l'ancrage funiculaire est tout à fait compétitif,

- son autonomie vis-à-vis des moyens logistiques et sa précision sont bien suffisantes pour les travaux de forage, de réparation ou pour tout problème délicat de mise en œuvre en mer.

Ces différents points constituent les raisons plus ou moins évidentes de l'exceptionnel développement ces dernières années des supports à ancrage dynamique.

## Discussion

*Président : M.S. BINDEL*

M. le Président remercie M. FAY pour la clarté de son fort intéressant exposé et ouvre la discussion.

M. BAILLY (D.R.M.E., Paris) pose les quatre questions suivantes :

1 – Ne serait-il pas moins coûteux et plus performant d'assurer le positionnement du navire à partir d'un satellite par le système Transit, par exemple ?

2 – Quelle est la référence de cap utilisée sur la plateforme ?

3 – La plateforme est-elle stabilisée en ce qui concerne le roulis et le tangage ?

4 – Quel est l'ordre de grandeur de la puissance unitaire des propulseurs et de l'ensemble des propulseurs montés sur une même plateforme ?

M. FAY répond, point par point, comme suit :

1 – Les systèmes de localisation par satellite ne peuvent être actuellement utilisés parce qu'ils ne sont pas assez précis; pour l'ancrage dynamique on a besoin d'avoir à chaque instant – par exemple toutes les 0,5 seconde – la position exacte du support par rapport à une référence géographique ; or actuellement, les satellites ne pourraient fournir cette position avec la précision requise que pour des observations s'étendant sur 10 heures ou 12 heures.

2 – La stabilisation en cap de la plateforme est effectuée en utilisant comme capteur le compas gyroscopique du navire.

3 – Si l'on veut obtenir, d'une façon précise, la position de la plateforme, il est indispensable de prendre en compte les mouvements de roulis et de tangage ; à cet effet, il existe des systèmes, tels que les centrales de verticale, qui permettent de compenser ces mouvements.

4 – Actuellement, la puissance unitaire des propulseurs des navires à ancrage dynamique, s'échelonne entre 1 000 et 4 000 chevaux ; cela conduit à installer plusieurs propulseurs sur un support du type Pelican, mais satisfait les critères de sécurité et de redondance.

Le Pelican, qui jauge 15 000 tonnes, a une puissance disponible de l'ordre de 15 000 chevaux pour son ancrage. Le rapport "tonnage-chevaux" peut varier quelque peu mais le "Pelican" fournit un bon exemple des valeurs admises actuellement pour ce rapport.

M. VISCONTI (Alsthom-Atlantique, Grenoble) observe que le positionnement en X – Y – au moyen de propulseurs transversaux en tunnel – utilisé sur le Pelican semble, a priori, moins favorable que celui qui serait réalisé par des propulseurs orientables qui présentent des performances supérieures. A-t-on des éléments de comparaison économique sur ce point ?

En effet, répond M. FAY, les propulseurs orientables ont des poussées spécifiques, dans un courant de 2 nœuds, de 12 à 13 kgf par cheval sur l'arbre moteur ; ces valeurs ne peuvent

être atteintes avec les propulseurs transversaux en raison des pertes d'énergie dans le tunnel.

Mais des considérations pratiques interviennent pour faire accepter cette infériorité de rendement ; beaucoup de Constructeurs hésitent à disposer des propulseurs sous la coque. La question reste cependant ouverte et il est probable que, dans la prochaine décennie, le type et la disposition des propulseurs seront assez différents suivant le genre de mission dévolue au navire.

Quelles sont, demande M. SOMMET, les conditions limites de mer et de vent permettant d'assurer le positionnement dynamique pour un navire du type Pelican ?

Ces conditions dépendent évidemment de la taille du support, dit M. FAY, et je n'ai pas tous les chiffres en tête. Je sais que le Pelican a tenu par des houles de 15 mètres ; mais tout dépend évidemment de l'angle d'attaque et de la forme de la houle.

Pour le Pelican, ces hauteurs de houle de 15 m sont exceptionnelles ; contractuellement il doit assurer un positionnement correct sur des houles dont la "hauteur significative" (H 1/3) atteint plus de 4 mètres. Le Pelican tient par des vents de face soufflant en rafale à 60-70 nœuds ; contractuellement, cette limite était fixée à 40-45 nœuds de vent constant.

Le Pelican n'est pas bien armé pour résister aux courants, et en particulier, aux courants de travers, car dans ce cas, on perd tout l'apport des propulseurs principaux – qui sont dans l'axe longitudinal du navire – et on ne dispose que des propulseurs transversaux ; cette perte correspond à environ la moitié de la puissance ; comme l'a souligné M. VISCONTI, si le Pelican avait des propulseurs orientables, il tiendrait mieux par un courant de travers car il pourrait alors opposer à celui-ci la puissance de tous ses propulseurs.

Sur une question de M. SOMMET, M. FAY précise qu'en raison de la dimension de ses superstructures, la position normale de travail du Pelican est "vent-debout".

En raison des exigences de l'horaire, M. le Président clôt, à regret, la discussion en remerciant tous les intervenants et poursuit :

Je souhaite que, dans une prochaine réunion, il soit possible de discuter de points particuliers comme celui de la technique de simulation appliquée à l'optimisation du positionnement dynamique ; j'ai retrouvé dans la conception du système d'ancrage dynamique, tous les éléments qui entrent dans celle du pilotage automatique – en assiette et en immersion – des sous-marins ainsi que les méthodes disons d'analogie digitale par lesquelles on peut optimiser de façon extrêmement précise les différents éléments de la chaîne.

Il donne ensuite la parole à M. J.C. GUILLOUD pour l'exposé de sa Communication.

See English abstract on next page

**Abstract**

**Dynamic positioning of ships,  
platforms and floating vehicles in general**

The basic object of dynamic positioning is to maintain a ship, barge or platform at a fixed station near a reference point (e.g. above an oil-well). The system equipment is designed to maintain position of the vessel within specified limits by permanent opposition to disturbing forces due to wind, current, waves or other factors with the reaction of propulsion units or other active systems. Deviations are detected and transmitted to a computer, which sends optimized correcting force signals out to the propulsion units concerned. This type of system comprises the following components :

- a) A set of sensors
- b) A propulsion system
- c) Control and monitoring facilities

The components are interlinked in the form of three control loops (Fig. 1), which are assumed to be completely unconnected.

The type of vessel required almost invariably depends on geographical location and the type of operation involved, e.g. geological prospection, core-sampling, drilling, general underwater work, etc. Dynamic positioning systems are used on ships and semi-submersible platforms and will be on pipe-laying barges very shortly. Size of vessel is no object : the first applications were for 1 000 tons, but the semi-submersible SEDCO 709 platform recently equipped for the Shell Company is about 25 000 tons.

Position of the vessel is monitored by gyro-compass, inclinometer, acoustic or radio-electric sensors and increasingly efficient station-keeping ensured by anemometers, sonar, etc.

At the design stage, the size of propulsion units required to withstand outside forces is determined by calculation and from results of hydrodynamic and aerodynamic model tests.

The computer ensures the following :

- a) Coordination of conversion and filtering of signals from sensors.

- b) Distribution of thrust requirements among available propulsion units.
- c) Optimization of instantaneous power consumption.
- d) Efficient information of the position, sub-unit deficiencies and other relevant factors.
- e) Switchover to manual positioning control at any required time.
- f) As a navigation aid or in approaching a site.
- g) Location of a diving bell, underwater equipment or auxiliary vessel.

Station-keeping accuracy is usually to within a few per cent of the water depth. For depths between 300 m and 1 000 m for example, it can be assumed to improve from 6 % to 3 % of the depth (Fig. 8).

Careful design of vessels with dynamic positioning equipment has resulted in excellent availability at operating locations. Autumn and winter rates for the "Pelican" in the North Sea, for example, were 81 % and 64 % of total time respectively.

Dynamic positioning systems ensure better station-keeping than conventional "funicular" systems down to a present practicable depth limit of 1 000 m. Their relative positioning accuracy increases with water depth (contrary to anchoring systems). Their really outstanding feature, however, is that they are much more available and reliable in use. Major factors are that icebergs can be dodged without hauling-in cables, chains or anchors, headings can be maintained in most kinds of weather (and therefore, outside effects and roll reduced to a minimum), movements from station to station can be effected at high speed, and there are no connections between the seabed and surface (a tremendous advantage for comprehensively-equipped undersea fields). These factors frequently add up to a clear advantage for dynamic systems, despite their higher cost.