Le coût du forage en mer

Paul Louit, Jacques Teyssier

▶ **To cite this version:**

Paul Louit, Jacques Teyssier. Le coût du forage en mer. Sciences de l'ingénieur [physics]. 1968. hal-01910040

HAL Id: hal-01910040
https://minesparis-psl.hal.science/hal-01910040

Submitted on 31 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE

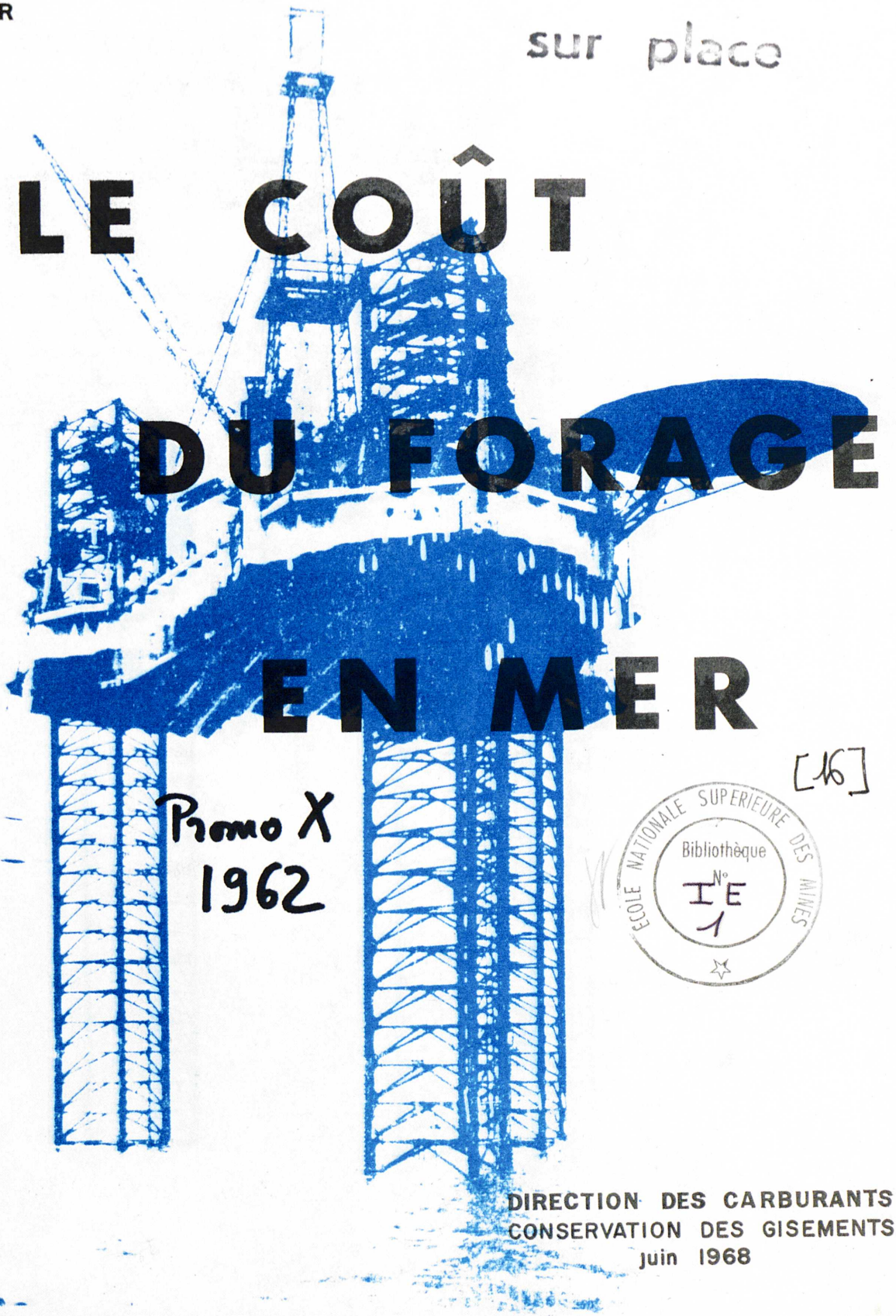
DES MINES

DE PARIS

PAUL LOUIT
JACQUES TEYSSIER

Consultation
sur place

LE COÛT DU FORAGE EN MER



Promo X
1962

[16]

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES
Bibliothèque
N° I E 1

DIRECTION DES CARBURANTS
CONSERVATION DES GISEMENTS
juin 1968

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DES MINES DE PARIS

Juin 1968

LE COUT DU FORAGE

EN MER

[16]

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES
Bibliothèque
N° I E 1

DIRECTION
DES
CARBURANTS

Paul LOUIT
Jacques TEYSSIER

Promo X 1962

- Avertissement -

Cette étude sur le coût des forages pétroliers en mer a pu être faite grâce aux informations et aux documents qui ont été mis à notre disposition par les sociétés ou les organismes qui s'occupent de ces problèmes en France.

Nous remercions particulièrement pour leur aide :

- le Bureau Central d'Etudes Marines,
- la C.F.P.,
- l'E.R.A.P.,
- l'Institut Français du Pétrole,
- la Société de forages en mer NEPTUNE

-=-=-=-=-=-

- Résumé -

Depuis une dizaine d'années, le prospecteur pétrolier a élargi le champ de ses recherches au domaine minier sous-marin, en raison des besoins sans cesse croissants en produits pétroliers.

Ce n'est pas sans difficulté que les sociétés pétrolières se sont lancées dans cette nouvelle voie. Il leur fallait en effet travailler dans un milieu hostile et résoudre bien des problèmes.

En raison des profondeurs en eau très variables, des conditions océanographiques très diverses et aussi de l'imperfection de chacune des solutions, on a vu se constituer l'"étrange armada" des supports de forage en mer.

Citons d'abord les plates-formes fixes, assistées ou non, surtout utilisées pour les forages de développement et de production. Viennent ensuite les plates-formes mobiles plus adaptées à l'exploration. A côté des submersibles et des barges postées qui existaient depuis longtemps en Louisiane et qui forment une classe à part, limitée géographiquement au Golfe du Mexique, on peut distinguer trois grandes catégories : les supports quasi mobiles auto-élévateurs prenant appui sur le fond et limités en profondeur, les unités semi-submersibles dérivées des submersibles enfin les bateaux classiques, navires auto-propulsés ou barges tractées.

Le marché des unités de forage en mer est caractérisé par une croissance très rapide. Malgré ces perspectives encourageantes le forage en mer reste une entreprise très risquée pour les entrepreneurs de forages. Le coût des unités mobiles atteint couramment 20 à 30 MF et peut même dépasser 50 MF. Il en résulte que la préoccupation principale de l'entrepreneur de forage en mer est de s'assurer des contrats de longue durée, 2 à 3 ans, afin de garantir l'amortissement rapide de son support dans un minimum de 4 à 6 ans.

Du côté de la société de recherche le problème n'est pas moins difficile. Le coût opérationnel du forage en mer est de 2 à 3 fois plus élevé qu'à terre et peut atteindre la bagatelle de 70 à 120 KF/j suivant les cas. La durée du contrat de forage passé entre la société de recherche et l'entrepreneur de forage est donc une lourde contrainte pour elle.

Le problème central du forage d'exploration en mer est donc de choisir l'engin le plus approprié. A cet égard le maître d'oeuvre doit faire un arbitrage difficile entre les coûts et délais prévisibles et les risques difficiles à estimer étant donné le peu d'expérience que l'on a. Par ailleurs le maître d'oeuvre doit prendre en compte ses besoins à long terme qui sont très flous et sans cesse remis en question.

Indiquons enfin qu'un autre problème se pose aux sociétés de recherche et aux entrepreneurs de forage en mer à savoir : quelles sont les améliorations à apporter aux nouveaux supports dont on a besoin, afin d'accroître leurs possibilités sans pour autant atteindre des coûts prohibitifs.

-=-=-=-=-=-

- Plan de l'Etude -

Introduction

01 - Les raisons de la recherche du pétrole en mer
02 - Historique et résultats de la recherche du pétrole en mer
03 - Objet de cette étude

Première partie : Les données techniques

11 - Généralités sur le milieu marin et son action sur un obstacle
  111 - Le vent
  112 - Le courant
  113 - La houle
  114 - Remarques sur les conditions limites retenues pour l'échantillonnage des structures
12 - Les contraintes du forage
13 - Les solutions actuelles
  131 - Les différents types d'unités par ordre de mobilité croissante
  132 - La mise en oeuvre des unités

Deuxième partie : Le marché des engins de forage en mer

21 - Le parc des engins de forage en mer
  211 - Constitution du parc au 1er janvier 1968
  212 - Evolution de la flotte des engins mobiles et prévisions
  213 - Situation géographique des unités mobiles
  214 - Les entrepreneurs de forage en mer
22 - La construction des unités
  221 - Variation du coût de la construction suivant les types d'engins
  222 - Le financement de la construction et l'amortissement des engins
  223 - Influence du délai de construction
23 - Le contrat de forage
  231 - Durée contractuelle
  232 - Droits et obligations des parties
  233 - Tarifs applicables
  234 - Responsabilités
  235 - Conditions diverses

Troisième partie : Eléments constitutifs du coût opérationnel

30 - Généralités
31 - Les travaux préliminaires
  311 - Reconnaissance sur le permis
  312 - Base opérationnelle
32 - La rémunération de l'entrepreneur
  321 - Décomposition du tarif de location
  322 - Variation des dépenses de l'entrepreneur
  323 - Le bénéfice de l'entrepreneur
33 - L'assurance
  331 - Les risques couverts
  332 - Le coût de l'assurance

34 - Le coût du déménagement et de la mise en place
341 - Armement, désarmement
342 - Amenée, repli
343 - Déplacements sur le champ
344 - Mise en place et opération inverse
35 - Le coût du ravitaillement et des moyens de transport annexes
351 - Les transports par mer, les navires de service
352 - Les transports par air, les hélicoptères
353 - Le coût global des transports

36 - Le coût des services annexes (hors forage)
361 - Les plongeurs
362 - Services météorologiques
363 - Télécommunications et base terrestre
37 - Les frais de forage
371 - Les frais proportionnels à la journée
372 - Les frais proportionnels aux mètres forés
373 - Les frais fixes
38 - Le coût opérationnel pour le maître d'oeuvre
381 - Exploration
382 - Développement

Quatrième partie : Comparaison, choix et évolution des unités de forage en mer

40 - Généralités
41 - Comparaison des engins
411 - Inventaire des supports, coût normaux
412 - Coût opérationnel hors tangibles et amenée-repli suivant les conditions d'intervention sur place
413 - Coût de l'amenée et du repli
42 - Choix des engins
421 - Estimation des risques
422 - Importance de la durée et des délais
423 - Etablissement des programmes
43 - Evolution des engins
431 - Décomposition du coût
432 - Amélioration du rendement

Conclusions

- Annexe
- Références bibliographiques
- Planches et figures

- INTRODUCTION -

"Que diable allait-il faire dans cette galère ?"

On assiste actuellement à un développement important de l'océanographie dont un des objectifs est de permettre la mise en valeur systématique des richesses de la mer.

La part de l'industrie pétrolière dans cet effort n'est pas négligeable en raison de l'extension prise par les recherches du pétrole sous la mer.

Avant d'aborder l'objet même de cette étude, il est utile de rappeler brièvement les raisons qui ont poussé le prospecteur pétrolier dans cette nouvelle voie, et de faire un bref bilan des premiers résultats.

01 - Les raisons de la recherche du pétrole en mer

Les réserves mondiales de produits pétroliers sont actuellement très importantes, cependant le rythme de découverte de nouvelles réserves ne suit pas l'accroissement de la production exigé par l'augmentation rapide de la demande.

En 1958 le rapport des réserves à la production annuelle vaut 41, ce chiffre tombe à 34 en 1962. La demande de produits pétroliers ne parait pas devoir diminuer avant de nombreuses années : en 1975 les prévisions indiquent que la consommation aura doublé depuis 1960. Dans les 15 prochaines années les USA devront produire plus d'huile et de gaz que tout ce qu'elles ont produit depuis la naissance de l'industrie pétrolière en 1859.

L'énergie nucléaire ne participera que pour un pourcentage très faible aux besoins énergétiques des 20 prochaines années. Les experts indiquent qu'elle couvrira 2% des besoins en 1975 et 6 à 7% en 1985.

Devant une telle pression de la demande la prospection sur les continents s'est étendue pratiquement à toutes les régions sédimentaires, même assez peu prometteuses.

Dans les bassins prouvés l'exploration devient de plus en plus difficile, de ce fait bien que le prix de revient des explorations en mer soit environ trois fois plus élevé que sur terre, il devient intéressant d'étendre le domaine minier au sous-sol marin.

Ce pas, le géologue est le premier à le franchir. En effet l'histoire géologique du globe est marquée par de perpétuelles transgressions ou régressions de la mer sur le continent. De ce fait la ligne des côtes actuelles n'a aucun caractère définitif et aucun caractère de limite géologique.

.../.

Cela étant, le prospecteur doit limiter son activité : les océans couvrent en effet une superficie de 360 M km2 soit 70% de la surface du globe et 2,4 fois la superficie des terres émergées. Bien qu'il ne soit pas impossible qu'il existe des bassins sédimentaires profondément noyés il est raisonnable d'envisager seulement les possibilités du plateau continental.

On sait que le plateau continental comprend la zone submergée, en bordure des continents, qui s'étend depuis la cote zéro limite des basses mers, jusqu'à une profondeur moyenne de 200m où débute le talus continental dont les fortes pentes (4 à 7°) relient le plateau aux grands fonds et marquent donc la limite des masses continentales.

Le plateau continental a une superficie de 27,5 M Km2 soit 7,6% de la surface des océans et 18% de la surface des terres émergées. On admet que 8 à 10 M Km2 de ce plateau peuvent offrir des perspectives favorables, ce qui représente 28 à 37% du plateau continental. Sur les continents la superficie des bassins sédimentaires est de l'ordre de 55 MKm2 : les aires favorables du plateau continental représenteraient donc 15 à 18% de la superficie des bassins sédimentaires émergés.

Toutes ces raisons font que la prospection pétrolière sous la mer peut se révéler fructueuse. Par ailleurs la notion de risque est familière au prospecteur pétrolier en raison du caractère aléatoire de sa recherche : il n'y a donc rien d'étonnant à ce que le risque de la recherche pétrolière en mer ne le rebute pas et qu'il soit parmi les premiers à se lancer dans ce nouveau domaine.

02. Historique et résultats de la recherche du pétrole en mer

a) Historique

Les premiers sondages du sous-sol de la mer se sont faits en Californie en 1894 à l'aide de puits déviés d'abord, puis par construction d'îles, de presqu'îles et de plates-formes fixes reliées à la côte par des estacades.

En 1933 ont lieu les premiers forages dans le lac de Maracaïbo, puis en 1936 dans le Golfe du Mexique. La première exploitation en mer ouverte se fait en Louisiane en 1938.

Mais ce n'est qu'en 1945 que commence sérieusement l'exploration en mer après la naissance de la géophysique et son application à la mer.

.../.

En fait si le prospecteur n'a pas dû changer de façon considérable ses conceptions, en revanche il a dû modifier considérablement son arsenal technique : le foreur est ici en retard sur le géologue.

Si les sondages d'exploration et les techniques de production entrainent des dépenses élevées, les méthodes de reconnaissance utilisables en mer sont elles très peu coûteuses. Ces deux faits expliquent que la recherche au stade de la reconnaissance s'étende allègrement sur toutes les mers du globe mais que la production reste confinée à quelques zones privilégiées,et que parfois des découvertes faites en mer doivent être abandonnées parce que trop coûteuses à exploiter dans l'état actuel de la technique.

b) Les premiers résultats (cf. carte fig. (02,I))

Les principales découvertes d'après-guerre sont les suivantes (source référence (1)):

- premiers champs en Louisiane	1947
- Neftaniye Kamni (URSS)	1951
- Safaniya (Arabie)	1951
- Trinidad (Soldado)	1956
- Khafji (Japonais-Koweit) Umn Shaif (Abu Dhabi-BP-CFP)	1958
- Mexique	1959
- Bahregansar (S.I.R.I.P.-Iran)	1960
- Darius (I.P.A.C.-Iran)	1961
- Belayim (E.N.I.-Egypte)	1961
- Anguille (Gabon)	1961
- Abu Safah (Arabie et Bahreih)	1963
- Middle Ground Shoal (Alaska)	1963
- Nigéria	1963
- Morgan (Golfe de Suez)	1965
- Mer du Nord	1966

Quant à la production, elle s'est élevée à 250 Mt en 1966 soit environ 15,5% de la production totale qui en 1966 était de 1641 Mt. Dans la production en mer intervient pour la moitié la production du lac Maracaïbo qui se fait dans des conditions relativement faciles.

.../.

Le tableau suivant indique la production des différents champs de pétrole productifs en mer.

Pays	Production 1966	Prévisions 1967/1968
Moyen-Orient		
Iran	4 200	7 500
Arabie Séoudite	32 000	46 000
Abu Dhabi	5 000	16 000 (1968)
Qatar	4 600	7 500
Zone neutre	12 500	
Dubai		550
Amérique du Nord		
Etats Unis	46 000	
Amérique du Sud		
Pérou	200	2 000
Trinidad	2 800	
Vénézuéla (lac Maracaïbo)	125 000	
Afrique		
Nigéria	2 700	
Gabon	1 300	
Egypte	2 000	
Europe		
U R S S	12 500	
Total :	250 800	

Production de pétrole en mer (en 1000 tonnes)
(source I.F.P.)

.../.

03 .. Objet de cette étude

Le problème ayant été placé dans son contexte général, nous nous intéresserons désormais au coût des forages pétroliers en mer, qu'ils soient d'exploration ou de développement.

Nous laisserons donc de côté tout ce qui concerne l'exploration géophysique préliminaire et la mise en production ultérieure.

Nous insisterons surtout sur les problèmes d'exploration car ce sont eux qui se posent en premier dans cette industrie qui débute. Par ailleurs les forages de développement sont assez dépendants de l'évolution future du champ c'est à dire de ses possibilités de production, il est donc difficile de dire où finit la phase de développement et où commence la phase de production.

Nous indiquerons d'abord les données techniques du forage pétrolier en mer : l'environnement, les contraintes techniques du forage et les supports mis en oeuvre pour y satisfaire.

Nous examinerons ensuite le marché des engins de forage en mer, c'est à dire la constitution du parc des engins disponibles et son évolution, les problèmes liés à la construction des engins et les dispositions contractuelles qui lient l'entrepreneur de forage et la société qui effectue les recherches.

Puis nous détaillerons les éléments constitutifs du coût des opérations pour la société pétrolière (coût opérationnel pour le maître d'oeuvre).

Nous donnerons enfin quelques indications sur la comparaison, le choix et l'évolution des engins de forage en mer.

.../.

PREMIERE PARTIE :

Les données techniques.

11 - Généralités sur le milieu marin et son action sur les obstacles

Le milieu marin est un environnement tout à fait hostile pour l'homme, plus encore que ne l'était l'atmosphère aux premiers temps de l'aéronautique.

La densité, la compressibilité (présente ou non), et l'existence d'une surface d'eau libre se traduisant par un spectre complexe d'effets, tout cela pose des problèmes d'hydrodynamique difficiles à l'ingénieur.

Avant d'entreprendre une action en un lieu déterminé, le prospecteur doit étudier les conditions océanographiques de ce lieu afin de pouvoir prédire suivant l'époque les caractéristiques du vent, du courant, et de la houle susceptibles de se présenter à lui.

111 - Le vent

Le vent est caractérisé par sa direction et sa vitesse.

En un lieu et à une époque déterminés, on représente habituellement la direction du vent par une rosace dont les flèches ont une longueur proportionnelle à la fréquence du vent observable dans la direction correspondante (cf. fig (111,1).

Quant à la vitesse dans une direction déterminée, on peut la caractériser par sa fonction de répartition. On a représenté à la fig.(111, II) les fonctions de répartition annuelles et omnidirectionnelles en différents lieux caractéristiques.

L'action d'un vent établi sur un obstacle fixé se fait proportionnellement au carré de la vitesse.

On peut adopter la formule suivante pour une semi-submersible type PENTAGONE 81.

$$F\ (\text{tonnes}) = 0{,}032\ V^2 (\text{noeuds})$$

Ce qui donne pour une vitesse moyenne de 40 noeuds un effort de 50t et pour une vitesse limite de 100 noeuds un effort de 300 t.

Mais dans la réalité le vent n'est pas stationnaire, et se caractérise par un vent moyen auquel se superposent des rafales. Etant donné que la période des rafales est faible devant le temps de réponse des supports ancrés, on peut assimiler ces rafales à des impulsions d'énergie déterminée.

112 - Le courant

C'est un phénomène beaucoup plus stable que le vent. Le courant agit sur un obstacle fixe proportionnellement au carré de son amplitude.

Pour le PENTAGONE 81 on a adopté la formule suivante :

$$F\ (\text{tonnes}) = 11{,}7\ V^2\ (\text{noeuds})$$

Pour un courant de 2 noeuds, habituel en Mer du Nord, on a une force de trainée de 47 tonnes.

.../.

Si l'on s'impose que le PENTACONE 81 résiste à un vent établi de 100 noeuds et à un courant de 4 noeuds supposé de même sens, son ancrage devra pouvoir étaler une force de 500t environ.

113 - La houle

La houle est un phénomène aléatoire caractérisé par un spectre directionnel.

La houle dite de Stokes est à profil sinusoïdal. La profondeur de l'eau étant supposée infinie on sait que la longueur d'onde L est reliée à la période T par la formule

$$L = \frac{g\,T^2}{2\pi}$$

Les équations de la houle peuvent être rapportées à un trièdre direct (O x, y, z) défini comme suit :

a) O est pris au niveau de l'eau au repos,

b) Ox est horizontal orienté dans le sens de propagation de la houle,

c) Oz est vertical vers le bas (profondeur).

Dans la houle de Stokes chaque particule d'eau a un mouvement orbital proportionnel à l'amplitude "a" de la houle qui s'amortit avec la profondeur suivant les équations :

$$\begin{cases} x = a\,e^{-mz} \sin(kt - mx) \\ z = a\,e^{-mz} \cos(kt - mx) \\ m = 2\pi/L \quad k = 2\pi/T \end{cases}$$

L'énergie de la houle est proportionnelle au carré de l'amplitude.

La houle réelle peut se décomposer sous forme d'une somme continue de houles de Stokes.

On peut caractériser une houle réelle par son spectre, qui donne la densité d'énergie en fonction de la fréquence. Ce spectre est important car il permet d'estimer la période de la houle sinusoïdale la plus représentative de la houle réelle : or nous verrons que la réponse du support dans la houle dépend de la fréquence de l'incitation extérieure.

Un autre paramètre très important est la hauteur de crête à creux c'est-à-dire le double de l'amplitude.

On a représenté à la fig. (113,I) les caractéristiques annuelles et omnidirectionnelles de la hauteur de la houle en des lieux différents.

..../.

L'action de la houle sur un obstacle fixe est actuellement assez mal connue. Beaucoup de progrès restent à faire dans ce domaine.

On admet que la force exercée par la houle se compose de deux termes :

- une force de trainée proportionnelle au carré de la vitesse orbitale de la houle,

- une force d'inertie proportionnelle au volume d'eau perturbée par l'obstacle et à l'accélération orbitale de la houle.

On montre que le deuxième terme est prépondérant dans le cas de dimensions importantes.

Le calcul des structures peut donc se faire par intégration des forces d'inertie élémentaires pour les volumes principaux immergés (coque, piles, caissons). En revanche pour les volumes de faible dimension, il faudra prendre en compte les forces de trainées.

D'autre part, étant donné la décroissance exponentielle de la force d'inertie, il est intéressant d'éloigner le plus possible les oeuvres vives de la surface et de rechercher la répartition spatiale qui donnera la réponse minimale pour les périodes de houles les plus probables. C'est à partir de ces deux principes que l'on a conçu les plates-formes semi-submersibles.

Indiquons que les forces mises en jeu par la houle, proportionnelles au volume de l'eau déplacée, sont du même ordre de grandeur que le déplacement du support. Ces forces cycliques sont donc sans commune mesure avec les forces permanentes résultant de l'action du vent et du courant et telles que nul procédé d'ancrage ne peut contrecarrer le mouvement dans la houle. C'est une des difficultés majeures des problèmes d'ancrage : tout amarrage devra en effet, sous peine de rupture, être capable d'opposer aux effets permanents de très fortes réactions, tout en permettant le mouvement cyclique dans la houle.

Un autre paramètre important est la période propre du support : à savoir la période de pilonnement en eau calme. Il faut faire en sorte que cette période propre soit différente des périodes des houles habituelles .

Afin d'illustrer par un exemple l'importance des phénomènes pris en considération pour l'échantillonage des structures, indiquons que la plate-forme semi-submersible PENTAGONE 81 a été conçue pour résister à une houle de 15 m pour une période de 9 sec et à une houle de 21 m pour une période de 16 sec dans une profondeur de 50 m.

..../.

114 - Remarques sur les conditions limites retenues pour l'échantillonnage des structures.

D'une façon générale on appelle phénomène n-annuel, un phénomène dont la probabilité d'apparition en une année est égale à $1/n$. Sa probabilité d'apparition au bout de p années sera

$$1 - (1 - 1/n)^p$$

Une difficulté réside dans la définition du phénomène à prendre en compte d'une part, et d'autre part dans le choix du phénomène limite ou ce qui revient au même dans le choix de n. Si l'on cherche à définir par exemple la hauteur de houle maximale que devra supporter le support, le phénomène pourra être : la hauteur maximale observable en une heure, la hauteur moyenne des trois plus grandes amplitudes observables pendant 20 minutes etc... On conçoit en effet que le phénomène significatif à retenir soit une certaine moyenne de la houle réelle suivant une base de temps à déterminer. L'autre difficulté qui réside dans le choix de la période statistique à retenir pour l'échantillonnage de la structure doit être rapprochée de la notion de risque.

La mesure du risque, en égard à la structure, est liée à la probabilité de rencontrer des conditions pires que celles pour lesquelles la plate-forme a été calculée.

Par exemple , si l'unité de forage a une durée de vie de 15 ans, ses chances d'être prise dans une tempête 25 - annuelle ou pire seront :

$$1 - (1 - 1/25)^{15} = 0,46$$

Si l'on veut que cette probabilité soit inférieure à 10 %, il faut calculer la structure avec la tempête 143-annuelle.

Le choix de la période statistique à retenir est une décision importante.

Dans le Golfe du Mexique, deux groupes de sociétés ont pris des options différentes :

- l'une prend des conditions centenaires (solution coûteuse),
- l'autre prend des conditions à 25 ans.

En définitive, après le passage du dernier cyclone, les installations fixes du premier groupe ont résisté, subissant des dommages mineurs, celles du deuxième groupe ont été partiellement détruites.

12 - Les contraintes du forage

Les premiers supports de forage mis en oeuvre par les sociétés pétrolières sont des plates-formes fixes dont les tabliers de travail sont situés au-dessus des plus fortes houles. Ces supports ont permis l'utilisation du matériel traditionnel de forage dans des conditions relativement proches des conditions bien connues et longuement expérimentées des forages terrestres.

..../.

Cependant, l'extension de la recherche en mer à des fonds de plus en plus grands a amené le pétrolier à concevoir des supports flottants.

Ce passage aux engins flottants pose cependant un problème fondamental : le train de tiges de forage, les tubes guides, les câbles guides, etc..., en un mot tout le matériel reliant le support flottant au fond, ne s'accommode que de mouvements du support flottant très sévèrement limités.

De la fig. (12,I) il ressort qu'en première approximation, les contraintes induites dans le matériel de liaison dépendent de deux angles a et ϑ.

Dans chaque cas particulier de forage, et à chaque étape de ce forage, une courbe fig. (12,II) définit une zone interdite, en ce sens qu'elle correspond à des contraintes inadmissibles dans le matériel de liaison.

OB caractérise le déplacement relatif $\Delta x/h$ maximal admissible en l'absence de tout mouvement angulaire propre (roulis ou tangage) du support, OA le roulis (ou tangage) maximal admissible en l'absence de tout déplacement.

Cette courbe montre le caractère cumulatif des effets néfastes d'imprécision de positionnement du support et de ses mouvements propres angulaires, à la houle par exemple.

Les chiffres du tableau suivant montrent l'acuité du problème.

longueur du tubing (hauteur d'eau + profondeur de forage)	Roulis maximal admissible pour $\Delta x = 0$	Δx maximal admissible pour roulis nul
300 m	7°	8 m
1 500 m	2,5°	2,5 m
3 000 m	1°	1 m

Contraintes de forage : (Forage avec tubing 3"1/2 ; 9,3 livres par pied ; grade N.80 ; hauteur d'eau 100 m; courant moyen 1 noeud).

Il faut comparer la sévérité de ces restrictions à la pluralité et l'importance des effets extérieurs susceptibles de provoquer la mise en mouvement du support.

En ce qui concerne la technique de forage elle-même : elle est sensiblement la même qu'à terre dans le cas des plates-formes fixes et auto-élévatrices. Dans le cas des supports flottants elle diffère notablement par la présence de la tête de puits sous-marine et d'une coulisse dans le train de tige afin de permettre un certain pilonnement du support.

..../.

13 - Les solutions actuelles

131 - Les différents types d'unités par ordre de mobilité croissante

a) - Les plates-formes fixes assistées ou non

Elles sont spécialement adaptées aux problèmes de développement et de production.

Etant donné la diversité des cas rencontrés on est conduit à un échantillonnage de plates-formes différent, par leurs surfaces horizontales et par l'importance et la disposition des charges.

Lorsque les gisements à mettre en production sont suffisamment localisés, on cherche à les développer en groupant le plus grand nombre possible de puits sur la même plate-forme, les forages étant effectués en déviation contrôlée. On rencontre ainsi des plates-formes regroupant de 30 à 40 puits. Les dimensions du tablier horizontal sont importantes (1200 à 2000 m2), les charges à supporter peuvent atteindre 5 à 6000 t. Le temps nécessaire au forage des puits pouvant être de plusieurs années, la mobilité de la plate-forme perd totalement de son intérêt.

Si les caractéristiques des gisements sont telles que l'on ne pourra grouper que 4 à 5 puits sur la même plate-forme, on utilisera une solution mixte mettant en oeuvre une plate-forme légère fixe ou auto-élévatrice, assistée d'un engin mobile, le plus généralement flottant (tender) transportant tout ce qui n'est pas indispensable à la plate-forme. Les plates-formes possèdent généralement deux niveaux de 150 m2 : au niveau inférieur on trouve la tête de puits, au niveau supérieur le plancher de forage. Ce dernier peut être remplacé ultérieurement par les installations de production. La charge verticale pendant le forage peut atteindre 1000t.

La conception de la plate-forme, quand elle est fixe, peut être très différente suivant les conditions océanographiques du lieu d'implantation et le degré de développement de la région en ce qui concerne les moyens nécessaires à la réalisation des travaux en mer.

La conception la plus classique est la plate-forme à structure guide et pieux battus. Une structure guide en une, deux ou trois parties, suivant la taille de la plate-forme, sert de gabarit pour la mise en fiche des pieux. Les pieux sont tubulaires, comme la structure elle-même, ils sont soudés à la structure puis coupés de niveau pour recevoir le troisième ensemble, le quai lui-même.

Cette conception est limitée en taille et en poids par la capacité des moyens de levage nécessaires. Ces plates-formes sont limitées à 70 m de profondeur d'eau. Des projets existent pour 100 à 120 m d'eau, mais supposent la création de moyens plus puissants.

Pour se libérer de ces sujétions des conceptions nouvelles ont été mises en oeuvre. On a réalisé des structures dotées de cylindres de flottaison et de ballants afin de permettre le remorquage puis l'immersion de ces unités avec le minimum de moyens.

..../.

Le tableau fig. (131,I) donne le poids total des plates-formes fixées de forage production en fonction de la profondeur d'eau. Ce tableau donne également le poids total d'une plate-forme fixe assistée de 400 m2 permettant de forer 1 à 2 puits . Il donne également les caractéristiques des plates-formes légères de production de 144 m2 : ces dernières sont mises en place à côté du conducteur pipe auto-porteur et permettent les opérations dites de "work over".

b) Les plates-formes submersibles

Les barges terrestres utilisées pour forer dans les marais et les baies protégées au pays de "Louisiana Story" sont à l'origine les plates-formes submersibles, sortes de chalands immergés prenant appui sur le fond.

Avec le RIG 45 de KEER MAC GEE, le chaland conserve sa forme originelle: des colonnes supportent le pont de travail, des pontons accroissent la stabilité devenue particulièrement nécessaire en raison de la surélévation du centre de gravité.

En 1956 apparaissent les submersibles utilisant des flotteurs verticaux en forme de bouteille (KEER MAC GEE RIG N° 46), largement espacées afin d'assurer une meilleure stabilité.

Etant donné les capacités en eau faible et la difficulté des déménagements les submersibles sont surtout utilisées dans le Golfe du Mexique.

La série des submersibles connait un développement final avec le RIG 54 de KEER MAC GEE qui peut forer dans une profondeur de 53 mètres d'eau. Cette unité monstrueuse marque la limite de cette conception.

c) Les plates-formes auto-élévatrices.

Les premières auto-élévatrices sont réalisées par la firme DELONG, elles sont issues des docks DELONG réalisés pour des besoins militaires pendant la dernière guerre mondiale.

Ces plates-formes reposent sur des piles cylindriques de diamètres et de nombre variables qui coulissent dans des cages solidaires de la plate-forme au moyen de vérins. Récemment ce type de plate-forme a connu des déboires en raison d'un "grippage" des piles cylindriques lors de la remontée des piles.

La firme LE TOURNEAU construit des plates-formes de plan triangulaire, qui reposent sur trois piles en treillis tubulaire de section triangulaire dont les arêtes supportent chacune une crémaillère. Un dispositif électro-mécanique à réducteur entraine un pignon qui attaque la crémaillère.

Dernièrement la même firme a construit des plates-formes suivant le même principe mais de plan héxagonal et dont les piles sont inclinables afin d'accroître le polygone de sustentation et par conséquent la capacité en eau (plate-forme NEPTUNE-GASCOGNE).

..../.

En dehors de ces deux types principaux, quelques autres plates-formes ont été construites suivant d'autres principes, telles que par exemple SEA SHELL et MR LOUIS.

La capacité en eau des plates-formes auto-élévatrices atteint couramment 30 à 60 m. La capacité maximale est atteinte par des plates-formes LE TOURNEAU à 3 piles de 140 m qui peuvent travailler par 91 mètres d'eau.

d) Les bateaux de forage

Les premiers bateaux de forage sont de petite taille et destinés principalement à des opérations de carottage.

D'anciens tenders sont ensuite transformés en bateaux de forage. Ces unités plus puissantes que les précédentes sont caractérisées par la position hors bord du derrick (série des MOLA).

Le premier bateau à forage par le centre est le CUSS I: il a donné naissance à la série des GLOMAR d'un tonnage plus important.

Afin de conférer une plus grande stabilité aux bateaux de forage divers procédés ont été imaginés. Citons par exemple le SIDE WINDER inspiré des bateaux à balancier polynésiens. Dans le même ordre d'idée on peut également citer le catamaran E.W. THORNTON dont l'inertie de flottaison est importante afin de réaliser un couple de stabilité initial important.

Parmi les engins construits à partir de coques plus ou moins classiques mais dotés de moyen d'ancrage plus élaborés, il faut citer le WESTERN OFFSHORE N° 2 et le DISCOVERER caractérisés par un système d'ancrage sur tourelle centrale qui leur permet de s'orienter librement suivant la direction de moindre action du vent et du courant. Il faut citer également la technique d'ancrage par positionnement dynamique qui consiste à utiliser les poussées d'organes propulsifs spéciaux pour contrecarrer les effets extérieurs (procédé mis en oeuvre à bord du TEREBEL navire de recherche de l'I.F.P).

Actuellement on assiste au développement de bateaux de forage de plus en plus importants afin d'obtenir des capacités de stockage très grandes. Citons par exemple l'ancien baleinier "THE WHALER" d'un déplacement de 30 000 tonnes, alors que le déplacement moyen des bateaux de forage varie de 6 à 11 000 tonnes.

e) Les plates-formes semi-submersibles

A côté des bateaux de forage on assiste actuellement et depuis 1961 au développement des plates-formes semi-submersibles. C'est ainsi qu'une ancienne plate-forme submersible KEER MAC GEE N° 46 est transformée en 1961 de manière à être utilisée en position flottante sous le nom de BLUE WATER RIG N° 1. Un avantage de ce type de support est que la plus grande partie des oeuvres vives se trouve à grande profondeur, ce qui amortit considérablement les mouvements dans la houle.

..../.

En raison des charges aux crochets variables, les semi-submersibles les plus récentes ont le derrick aussi près que possible du centre de gravité de la structure. C'est un des objectifs de la conception de l'OCEAN DRILLER de ODECO en forme de V.

Les semi-submersibles récentes comme les SEDCO 135 et l'OCEAN QUEEN ont été conçues avec le souci d'améliorer le remorquage en position lège.

On a recherché également à augmenter le module de stabilité initial et le moment d'inertie de flottaison en élargissant les piles au niveau de la surface.

En conclusion on peut dire que le parc des engins est actuellement en pleine évolution. La flotte des unités mobiles est particulièrement disparate en raison du caractère imparfait de chaque solution. Un article technique récent faisait référence à ces unités mobiles en parlant d'une "étrange armada": c'est sans conteste une description méritée des réalisations inhabituelles développées pour résoudre des problèmes très variés.

132 - La mise en oeuvre des unités

Les principaux problèmes liés à l'utilisation des unités de forage sont les problèmes de déménagement, les problèmes de mise en place, les problèmes du point fixe et les problèmes de logistique. Nous définirons par ailleurs le taux d'utilisation d'un support.

a) Le déménagement des unités mobiles

Les bateaux auto-propulsés ouleles barges tractées ne posent aucun problème : leur vitesse moyenne peut atteindre 6 à 7 noeuds, c'est donc là le principal avantage des bateaux.

Les semi-submersibles et les auto-élévatrices sont en revanche plus difficiles à déménager. C'est une opération délicate qui ne peut s'effectuer que par mer calme.

Les semi-submersibles sont remorquées en position lège et les auto-élévatrices toutes piles dehors, ce qui pose des problèmes délicats de stabilité.

La vitesse de déplacement de ces unités est limitée par la résistance des structures et par la puissance des remorqueurs disponibles. Les puissances unitaires de remorquage sont limitées à 9000 CV. Les vitesses de déménagement moyennes varient entre 3 et 4 noeuds : c'est donc là le principal inconvénient de ce type de support.

b) La mise en place

En ce qui concerne les plates-formes fixes nous avons vu qu'il fallait disposer de moyens puissants.

Le transport se fait par barges en plusieurs éléments ou éventuellement, pour les grandes dimensions, par flottaison.

..../.

En ce qui concerne les auto-élévatrices et les submersibles, il faut que les conditions météorologiques soient particulièrement bonnes : il se passe en effet un moment difficile quand la plate-forme prend appui sur le fond alors que le tablier est encore soumis à l'action extérieure.

c) Le point fixe : nature du fond, ancrages

Dans tous les cas il est utile d'étudier très sérieusement la nature du fond sur plusieurs mètres.

Pour les auto-élévatrices il faut que la pression d'appui admissible soit supérieure à 2 à 4 kg/cm2 sur 10 m afin de permettre une pénétration importante des "spuds tanks" après précharge.

Pendant toute la durée du forage, les plongeurs devront surveiller la tenue du sol au voisinage des piles en raison des risques d'affouillement par les courants de fond.

Pour les submersibles il faut que la pression d'appui soit supérieure à 0,2 kg/cm2 sur 10 m.

En ce qui concerne les engins ancrés par des moyens conventionnels, il est indispensable de connaître la nature du sol et les valeurs des coefficients de cohésion afin d'étudier le système d'ancrage le mieux adapté.

Etant donné les contraintes quant à la précision en position de support, les moyens conventionnels, qui mettent en jeu une pluralité d'amarres, doivent être de plus en plus puissants à mesure que la taille du support et la profondeur augmentent.

Pour amarrer une plate-forme de 17 000t par des fonds de 100 à 200 m il faut 1 000 à 2 000 m de cable 3" soumis initialement à une tension de 15 à 20 t avec des ancres de 15 t : on voit l'énormité des moyens à mettre en oeuvre.

d) Les problèmes de logistique

Quel que soit le type de support choisi il faut prévoir des moyens pour effectuer la relève du personnel. On peut utiliser des vedettes ou des hélicoptères, ces derniers s'accomodant de conditions météorologiques plus rigoureuses.

Suivant la capacité de stockage disponible, il faudra prévoir un nombre plus ou moins important de bateaux de ravitaillement (supply boat, crew boat). Par ailleurs il faut prévoir souvent, pour des raisons de sécurité, un bateau qui reste en stationnement à proximité du support ("stand by").

Si l'on tient compte en plus des remorqueurs utilisés par les supports mobiles non auto-propulsés, des barges de manutention nécessaires aux plates-formes fixes, on voit le grand nombre d'engins annexes nécessaires ce qui justifie l'appellation de "cirque de forage".

...

e) Le taux d'utilisation

On appelle taux d'utilisation (ou rendement ou coefficient d'intempérie), après mise en place, le pourcentage du temps ou l'engin peut travailleur normalement.

A conditions océanographiques égales, les possibilités des engins diffèrent considérablement, il n'y a que face aux conditions extrêmes et aux ouragans qu'ils sont égaux, car aucun engin, quel qu'il soit, ne travaille dans ces conditions. Chaque type d'engin a ses limites vis-à-vis des conditions océanographiques : pour obtenir le taux d'utilisation le plus probable il faut superposer ces limites aux conditions océanographiques de la zone, exprimées en probabilité suivant des graphiques analogues à celui de la fig. (111,II). Cette estimation doit tenir compte d'un coefficient de pénalisation, car les arrêts des travaux ne sont pas immédiats et supposent un délai de mise en sécurité du puits et de l'installation, en particulier pour les engins flottants à cause du "riser".

Le tableau suivant donne les ordres de grandeur des phénomènes limitant le forage.

plates-formes fixes :	tempête exceptionnelle
auto-élévatrices :	" "
submersibles :	" "
semi-submersibles :	vent : 35 noeuds houle : 5 m
tenders :	houle : 2,5 m
bateaux :	houle : 2 m

Limitation des travaux de forage

(Source référence (2))

On peut définir également un taux d'utilisation sur le champ qui tient compte des déplacements de puits à puits sur le permis. Ce taux doit tenir compte des attentes avant déménagement et avant mise en place car ces opérations nécessitent de bonnes conditions météorologiques. Si le taux d'utilisation en place pénalise les supports flottants, le taux d'utilisation sur le champ pénalise les auto-élévatrices et les semi-submersibles.

Il est beaucoup plus difficile d'obtenir a posteriori, à partir des rapports de forage, le taux d'utilisation réel. En effet, si les conditions océanographiques deviennent mauvaises mais que le support peut rester en place, on peut interrompre les opérations de forage et se livrer à des travaux qu'il

...

aurait fallu de toute façon effectuer.

Par ailleurs, si la connaissance du taux d'utilisation le plus probable est utile, la connaissance de l'écart type de cette variable aléatoire serait presque aussi utile, car il serait alors possible d'estimer l'écart entre le coût réel et le coût le plus probable, c'est à dire la précision de la prévision. Nous reviendrons sur ce point ultérieurement.

DEUXIEME PARTIE :

Le marché des engins de forage en mer

21 - Le parc des engins de forage en mer

211- Constitution du parc des engins de forage en mer le 1er janvier 1968.

Le tableau suivant résume la situation.

On a indiqué également les engins en construction de la catégorie des supports mobiles.

supports fixes :		
rigs sur plate-forme fixe	95	
tenders avec rig sur plate-forme fixe	43	
supports mobiles :		en construction
submersibles et "inland barges"	32	
auto-élévatrices	76	1
semi-submersibles	23	6
barges	19	1
bateaux auto-propulsés	22	3
total	310	
dont engins mobiles	172	

Parc des engins - Situation au 1er janvier 1968 (source référence (5)

212 - Evolution de la flotte des engins mobiles et prévisions

Les "rigs" sur plate-formes fixes et les "tenders rigs" servent surtout à développer un champ en vue de sa production. Les efforts des 14 dernières années ont porté principalement sur la mise au point d'engins mobiles plus adaptés à l'exploration et au développement d'exploration. L'évolution de cette "flotte" (cf. fig. (212,I)) est donc plus représentative du développement des activités de recherches et de production en mer.

L'augmentation du parc des engins fixes et mobiles n'est pas terminée : les prévisions américaines montrent une expansion continue jusqu'en 1990 où le nombre total des engins serait voisin de 450.

213 - Situation géographique des unités mobiles

Le tableau fig. (213,I) donne la répartition géographique suivant les catégories des supports.

.../..

Les principales zones d'activité sont le Golfe du Mexique, la Mer du Nord et le Golfe Persique.

Il apparaît clairement que l'on peut classer suivant leur dispersion croissante les auto-élévatrices, puis les semi-submersibles, enfin les bateaux.

214 - Les entrepreneurs de forage en mer

Le tableau fig. (214,I) donne les principaux entrepreneurs de forage en mer et le type d'appareil qu'ils utilisent à la date du 1er mars 1966.

Sur 64 entrepreneurs de forage qui se partagent 147 unités, les 10 premiers américains possèdent 68 unités. Les trois plus importants sont : OFFSHORE COMPANY, GLOBAL MARINE et OCEAN DRILLING COMPANY (O.D.E.C.O) spécialisés respectivement dans les auto-élévatrices, les bateaux et les submersibles ou semi-submersibles.

Les entrepreneurs français sont en 15ème et 31ème position.

22 - La construction des unités

221 - Variation du coût de la construction suivant les types d'engins

On constate, lorsque l'on consulte la littérature, que les coûts de construction des supports de forage, principalement des unités mobiles, sont très dispersés.

En dehors du fait que certains entrepreneurs préfèrent, pour des motifs commerciaux, donner des coûts ou trop élevés ou trop bas, les fluctuations peuvent tenir à différentes raisons.

Il n'est jamais précisé, par exemple, si les frais d'études, de surveillance des travaux et de préparation interviennent dans le coût total.

Par ailleurs, il faut signaler que certains constructeurs réalisent le financement de la construction (préfinancement) en recourant à des prêts, ce qui occasionne des frais financiers, alors que d'autres recourent à l'autofinancement sans pour autant actualiser des dépenses qui peuvent s'étaler sur une durée importante.

a) Les plates-formes fixes de forage et de production

Il s'agit du coût de la fabrication et de la mise en place hors appareil de forage.

Le coût de la fabrication pour les plates-formes de capacité inférieure à 80 m varie de 2,5 à 2,8 F/kg.

Le coût de la mise en place - c'est-à-dire le coût du transport et de la pose - fait intervenir les frais de location des moyens nécessaires. Ce coût est donc très variable suivant le lieu et la durée de l'opération. Le coût moyen de la pose est de l'ordre de 3 à 3,5 F/kg.

Le coût total mise en place et pose est de l'ordre de 6 F/kg en valeur moyenne.

b) Les plates-formes submersibles

La submersible la plus puissante est le RIG 54 de KEER MAC GEE qui a coûté 32,5 MF et qui peut forer dans 53 m d'eau. Citons également l'OCEAN DIGGER de ODECO construite en Australie en 1967 pour 30 MF.

c) Les plates-formes auto-élévatrices

Le coût dépend de la capacité en eau et des conditions extrêmes que la plate-forme peut supporter.

.../..

Pour des profondeurs d'eau moyennes et des conditions océanographiques moyennes, ce coût peut atteindre 20 à 30 MF. Pour des profondeurs plus importantes ou pour des conditions océanographiques plus rigoureuses, ce coût peut atteindre 30 à 40 MF et même 50 MF dans certains cas.

d) Les navires de forage

En moyenne, les navires de forage valent de 20 à 25 MF. Les nouveaux bateaux de forage à grande autonomie valent beaucoup plus cher, de 30 à 68 MF d'après la littérature.

Un poste de dépense important est la tête de puits sous-marine.

e) Les plates-formes semi-submersibles

En moyenne, les coûts varient entre 26 et 52 MF.

Le tableau fig. (221,II) donne la décomposition du coût pour une semi-submersible.

Les postes de dépense principaux, en dehors de la structure (40 %) sont par ordre d'importance décroissante la tête de puits sous-marine (12 %), l'ancrage (9 %). L'ensemble du matériel de forage(force motrice, matériel de forage et bac à boue)ressort pour environ 15 %.

f) Conclusions

On voit que les différents types d'engins mobiles se répartissent comme suit, suivant leurs coûts :

- navires de forage moyen : 20 à 25 MF
- auto-élévatrices et submersibles : 23 à 35 MF
- semi-submersibles : 30 à 52 MF

Il faut retenir que dans le coût total, la tête de puits sous-marine, quant elle existe, et l'ancrage si nécessaire, sont des postes importants de dépense en dehors de la structure elle-même. Quant au matériel de forage proprement dit, il intervient pour 15 % du coût total pour une semi-submersible par exemple. On a donc tout intérêt à prévoir des capacités de forage très puissantes de façon à pouvoir utiliser la plate-forme quel que soit le programme de forage.

Signalons enfin que le coût de la construction a augmenté de 50 % dans la période de 1956 à 1965 : une plate-forme auto-élévatrice d'une capacité supérieure à 25 m coûtait 15 MF en 1956, elle coûte 22,5 MF en 1965.

.../..

222 - Le financement de la construction et l'amortissement des engins

Etant donné l'importance des investissements, les entrepreneurs de forage en mer doivent s'assurer d'un emploi pour le support avant de faire quoi que ce soit.

S'ils empruntent, ils doivent garantir le remboursement de ces emprunts par les "cash flow" futurs.

Prenons l'exemple d'une semi-submersible de 50 MF. Supposons qu'un contrat de forage ait été passé avec une société pour une durée de 3 ans assurant une rémunération de 50 000 F/jour soit 18 MF par an. Sur ces 18 MF le cash flow est de 10 MF environ. L'entrepreneur pourra emprunter au maximum à un taux de 7 % :

$$10 \left[\frac{1}{1,07} + \frac{1}{1,07^2} + \frac{1}{1,07^3} \right] = 26,27 \text{ MF}$$

Il doit pouvoir financer sur fonds propres environ 24 MF.

Il est possible également de prévoir des tarifs contractuels dégressifs afin d'assurer plus rapidement le remboursement des sommes empruntées.

Le calcul du tarif entrepreneur se fait en amortissant le support sur une durée de 5 à 6 ans. Comme nous le verrons ultérieurement, l'entrepreneur ne gagne alors pratiquement rien pendant les cinq premières années d'utilisation. Le problème pour lui est donc de construire un support qui pourra satisfaire la demande au delà de 5 ans. Etant donné le progrès technique, cette règle de 5 ans paraît sage.

223 - Influence du délai de construction

Les délais de construction des plates-formes auto-élévatrices et semi-submersibles varient habituellement de 13 à 18 mois. Dans certains cas, ils peuvent dépasser deux ans.

Les délais de construction des bateaux sont beaucoup plus courts de l'ordre de 8 à 9 mois.

La considération du délai de la construction est primordiale en raison des sujétions relatives aux contrats passés pour assurer l'utilisation ultérieure du support.

En effet, le maître d'oeuvre s'est engagé à utiliser le support pour une durée de 2 à 3 ans. Il se trouve que pour diverses raisons, la date du début des opérations doit obéir à des contraintes très strictes.

.../..

D'autre part, l'entrepreneur avant de commencer la construction attend le dernier moment. Une fois la construction entreprise, il doit lutter contre le temps pour respecter les délais. Dans ces conditions, la construction coûte cher.

La seule manière pour l'entrepreneur d'échapper à cette sujétion est de se lancer dans la construction spéculative sans avoir aucune garantie de contrat, puis d'offrir le support aux enchères une fois la construction faite. On peut citer l'exemple de la semi-submersible MARINER 1 et du bateau SPINDLE TOP construits suivant ce principe.

23 - Le contrat de forage

La société titulaire d'un permis de recherche en mer - c'est-à-dire le maître d'oeuvre - s'adjoint, comme à terre, le concours de sociétés de prestations de services, pour développer son permis depuis les premières études océanographiques et géophysiques jusqu'à la mise en production ou l'abandon du puits. Parmi ces sociétés, l'entreprise de forage occupe une place privilégiée par l'étendue de la tâche qui lui est confiée et la part qu'elle représente dans le prix de revient total du puits, sensiblement la moitié.

Les rapports du maître d'oeuvre (M.O) et de l'entrepreneur (EN) sont régis par un contrat, dit contrat de forage. Il fixe les lieux d'opération, la durée, les droits et obligations ainsi que les responsabilités de chacune des parties, les tarifs applicables et quelques conditions diverses.

231 - Durée contractuelle

La durée contractuelle est fixée généralement à 2 ou 3 ans pour les appareils non amortis. Elle débute le jour où l'engin se trouve en son premier lieu d'opération prêt à forer. C'est une durée minimum imposée au M.O en ce sens qu'il n'aura pas la possibilité de dénoncer le contrat avant la fin de cette période, quel que soit l'usage qu'il ait à faire de la plate-forme de forage. La conclusion d'un contrat de forage revient donc à un engagement financier minimum indépendant des succès ou de l'échec de la campagne de forage.

Pour les engins amortis, cette durée peut être réduite à 6 mois. Les plates-formes se trouvent généralement amorties au bout de cinq ans d'opérations. Par ailleurs, une clause prévoit la possibilité du transfert de l'outil de forage à un autre M.O avant la fin de la durée contractuelle. Cette clause a joué fréquemment.

La durée contractuelle, qui est une lourde contrainte pour le M.O, s'explique par le coût de construction élevé des plates-formes. Généralement, les banques n'acceptent de financer cette opération qu'au vu des contrats obtenus par l'EN.

232 - Droits et obligations des parties

Le contrat de forage définit avec précision les travaux et prestations assurés par l'EN et ceux qui restent à la charge du M.O.

a) Travaux et prestations à la charge de l'EN

EN fournit la plate-forme de forage, dont l'équipement fait l'objet d'une description détaillée en annexe au contrat. La liste descriptive du matériel organique comprend le derrick et la substructure, l'équipement

.../..

du derrick, le treuil et la transmission, le système de pompage, la force motrice, les bassins de stockage et de traitement des boues, l'équipement de sécurité, les instruments de mesure, les accessoires du derrick, l'équipement de fond, le matériel de repêchage, le matériel de tubage et cimentation, le matériel de service. A la liste type s'ajoute les fournitures supplémentaires demandées par M.O.

Pour un type de support de forage, les caractéristiques de l'équipement fourni varient assez peu d'un EN à l'autre. Il est, en règle générale, très largement dimensionné. Dans le détail, on peut observer cependant des variations importantes selon que tel équipement est fourni ou non, un bateau de service par exemple. Ce point empêche la comparaison immédiate des différents tarifs offerts par les contracteurs et nécessite l'estimation des postes défaillants en vue d'une compensation.

EN fournit également une équipe de personnel qualifié et de manoeuvres dont l'effectif global voisine la cinquantaine. Une partie, le tiers ou la moitié même, se trouve recrutée dans le pays voisin de la zone de forage.

EN assure la mise en oeuvre de la plate-forme et les opérations de forage sur les emplacements désignés par M.O. Par opération de forage, on entend, non seulement le forage proprement dit, mais les carottages, essais de production, épreuves de résistance et étanchéité, tubages, cimentation, instrumentation, pose et scellement des tours de protection de tête de puits etc....

EN assure la mobilisation de la plate-forme en vue de son transfert d'un emplacement de forage au suivant, mais n'est généralement pas chargé du remorquage.

b) Obligations du M.O

M.O approvisionne à ses frais le matériel courant de forage (tubes - guides, casing, tubing, trépans, tête de puits etc..), les matières consommables (produits à boue, ciments, eau, carburants, etc..) et d'une manière générale ce qui n'est pas prévu ou impliqué dans la liste des fournitures à la charge de EN.

M.O assure par lui-même ou par l'intermédiaire de sociétés de service spécialisées:

- la surveillance géologique du sondage,
- la fabrication de la boue,
- les opérations électriques,
- les instrumentations,
- les essais de couche,
- la conduite du groupe cimentation,
- la plongée sous-marine.

.../..

M. O assure les transports aériens et maritimes du personnel et des fournitures entre la base à terre et la plate-forme.

M.O assure les télécommunications et la liaison avec les services météorologiques, le positionnement et la protection maritime.

233 - Tarifs applicables

La hiérarchie des tarifs reflète le degré d'activité de l'engin de forage et la part d'activité qui incombe à l'une ou l'autre des parties dans cet état d'activité.

Tarif I : activité normale

Tarif II: (arrêt maître d'oeuvre) en cas d'arrêt :

- sur ordre du M.O,
- pour réparation d'une panne causée par M.O,
- pour réparation de l'équipement sous-marin,
- pour les déménagements,
- pour cause de mauvais temps,
- pour contrôle de douane,
- pour essais de production.

Ce tarif est très voisin du tarif I, suivant les contrats, il représente 93 à 96 % du tarif de base.

Tarif III (arrêt entrepreneur):

- en cas d'arrêt provoqué par l'entrepreneur,
- pour des réparations non prévues ci-dessus.

Il bénéficie d'une franchise de 24 à 48 heures, renouvelable tous les mois et augmentée du temps de transport des pièces de rechange de la base à terre à la plate-forme avant que ce tarif n'entre en vigueur.

Ce tarif représente en moyenne 80 % du tarif de base avec des fluctuations prononcées, de 60 à 85 %. Au bout de 30 à 90 jours de réparation dans une année, le tarif III est sensiblement réduit, voire annulé.

Tarif IV : désarmement

- pour remorquage (amenée ou repli),
- pendant les immobilisations au port.

Ce tarif qui n'est pas prévu par tous les contrats représente en moyenne 60 % du tarif de base, il peut descendre à 50 % ou rester à 80 %.

.../..

Tarif V : arrêt pour cause de force majeure.

Par force majeure, on entend un évènement tel que soulèvement, grève, guerre, disposition de la puissance publique administrant la zone de forage, feu, tempête, qui est indépendant de la volonté de chacune des parties. Le tarif applicable, quand il est défini à l'avance, est du même ordre que le tarif de désarmement (67 à 76 %). Sinon il est prévu qu'il sera négocié en tenant compte d'un amortissement raisonnable de la plate-forme, des frais financiers et du coût de l'assurance.

Il existe une clause de révision des tarifs suivant une formule d'indexation.

234 - Responsabilités

a) A l'égard de l'Administration

M.O est seul responsable à l'égard des administrations françaises et étrangères de l'application des règlements concernant les titres miniers, la conservation des gisements, la navigation, l'entretien et le contrôle des moyens de balisage, la pêche et la pollution des eaux.

C'est à ce titre, notamment, qu'en cas de sinistre, M.O gardera à sa charge toutes les opérations et les frais de sauvetage mis en oeuvre pour la conservation des puits et gisements.

b) A l'égard des tiers

Les contrats sont plus ou moins explicites sur ce point.

M.O assume la responsabilité des dommages corporels et matériels causés à des tiers :

- par une éruption, un cratère, une dégradation des gisements,
- par l'inondation des couches,
- par la mise en place, la présence en un lieu déterminé ou le déplacement de la plate-forme,
- par les bateaux ou hélicoptères utilisés pour le transport.

EN assume la responsabilité des dommages corporels et matériels causés aux tiers dans tous les autres cas (incendie, explosion ...).

A l'égard des sociétés de services, M.O imposeedans la majeure partie des cas que ces sociétés couvrent leur propre responsabilité civile et gardent à leur charge les dommages subis par leur personnel ou leur matériel et renoncent à ce titre à tout recours contre M.O ou EN.

.../..

c) Des parties entre elles

D'une manière générale M.O et EN , chacun en ce qui le concerne, supportent la charge de tous les dommages causés aux personnes qu'ils emploient ou aux biens qui leur appartiennent ou qui leur ont été confiés.

Il est toutefois précisé que M.O remboursera à EN l'équipement perdu ou rendu inutilisable dans le puits sauf en cas de négligence de la part de EN . Certains contrats étendent cette clause à tout l'équipement sous-marin.

235 - Conditions diverses

Le contrat de forage aborde quelques questions annexes comme :

- le mode de paiement,
- la possibilité pour M.O de prendre la direction effective des opérations,
- l'établissement des rapports d'avancement par EN ,
- la diffusion des informations,
- l'arbitrage en cas de conflit,
- le droit de regard de M.O sur les livres de compte de EN notamment en vue de la détermination du tarif de force majeure.

Enfin quelques situations exceptionnelles sont parfois envisagées comme la confiscation de la plate-forme Si elle se trouve saisie ou bien si sa réexportation est interdite, M.O remboursera à EN le coût de son équipement moyennant un taux de dépréciation annuelle convenable.

c) Des parties entre elles

D'une manière générale M.O et EN , chacun en ce qui le concerne, supportent la charge de tous les dommages causés aux personnes qu'ils emploient ou aux biens qui leur appartiennent ou qui leur ont été confiés.

Il est toutefois précisé que M.O remboursera à EN l'équipement perdu ou rendu inutilisable dans le puits sauf en cas de négligence de la part de EN . Certains contrats étendent cette clause à tout l'équipement sous-marin.

235 - Conditions diverses

Le contrat de forage aborde quelques questions annexes comme :

- le mode de paiement,
- la possibilité pour M.O de prendre la direction effective des opérations,
- l'établissement des rapports d'avancement par EN ,
- la diffusion des informations,
- l'arbitrage en cas de conflit,
- le droit de regard de M.O sur les livres de compte de EN notamment en vue de la détermination du tarif de force majeure.

Enfin quelques situations exceptionnelles sont parfois envisagées comme la confiscation de la plate-forme Si elle se trouve saisie ou bien si sa réexportation est interdite, M.O remboursera à EN le coût de son équipement moyennant un taux de dépréciation annuelle convenable.

TROISIEME PARTIE :

Eléments constitutifs du coût opérationnel.

30 - Généralités

Le coût opérationnel désigne le prix de revient du forage pour le maître d'oeuvre.

Une opération en un lieu déterminé se traduira par un coût et une durée qui dépendent des caractéristiques du permis, des opérations que l'on veut y faire et des moyens dont on dispose.

Afin de déterminer les éléments qui interviennent dans ce coût et cette durée nous examinerons successivement :

- les travaux préliminaires,
- la rémunération de l'entrepreneur,
- l'assurance,
- le déménagement et la mise en place,
- le ravitaillement et les transports,
- les services spécifiquement marins,
- les frais de forage.

Il nous sera alors possible de donner le coût opérationnel suivant le type de l'opération - exploration ou développement - suivant les caractéristiques de l'engin et suivant le lieu géographique.

31 - Les travaux préliminaires

Il s'agit essentiellement des travaux de reconnaissance sur le permis puis des travaux de mise en place de la base opérationnelle. C'est un coût fixe à amortir sur l'ensemble des opérations.

311 - Reconnaissance sur le permis

Pour déterminer l'engin le plus apte à remplir la mission, le maître d'oeuvre doit établir les conditions d'intervention sur place : études océanographiques et reconnaissance des fonds.

Le prix de revient de ces opérations dépend de l'exactitude recherchée et des documents déjà disponibles. On peut cependant donner des ordres de grandeur:

- Etude océanographique préliminaire sur le permis: 20 000 à 30 000 F.
- Reconnaissance des fonds, suivant les cas : 100 000 à 200 000 F/puits.

Le coût de ces opérations est donc tout à fait négligeable devant le coût total des opérations qui nous le verrons est de l'ordre de 100 000 F par jour et par puits.

Comme par ailleurs l'influence des résultats de ces études sur le choix définitif de l'engin est très grande, la tendance actuelle est de donner de plus en plus d'importance à ces travaux préliminaires car trop d'accidents ou d'immobilisations ont leurs origines dans une mauvaise connaissance du milieu.

./.

312 - Base opérationnelle

C'est le soutien logistique du forage en mer. Son rôle est d'assurer les liaisons radio et téléphoniques avec le support de forage, de s'occuper de l'embarquement et de l'acheminement du personnel et du matériel, et de stocker les produits et les matériels en transit.

Le coût de la base dépend évidemment des possibilités d'implantation locale.

On peut citer comme prix moyen 700 000 F. Mais ce prix peut être considérablement plus élevé si l'on doit faire des aménagements importants (aménagements portuaires etc...) : il peut atteindre 2 à 3 MF par exemple.

32 - La rémunération de l'entrepreneur

Nous allons étudier les dépenses à la charge de l'entrepreneur et rémunérées par le maître d'oeuvre au titre du tarif entrepreneur.

Le tarif résulte d'un contrat passé entre les deux parties et dépend donc des modalités de ce contrat.

Ce poste de dépense est important puisque le prix payé à l'entrepreneur représente 50 à 60 % du prix de revient d'un forage d'exploration.

La rémunération de l'entrepreneur dépend des caractéristiques du support contracté, de la position géographique du chantier, des opérations effectuées et des modalités du contrat.

On peut essayer de faire des comparaisons en convenant d'extraire du tarif si besoin est : l'assurance, le coût des transports et l'amortissement de l'amenée ou du repli du support.

Par ailleurs les tarifs étant différents suivant que la plate-forme est en activité ou à l'arrêt, on peut prendre un tarif moyen pondéré suivant la régle :

85 % tarif activité + 15 % tarif arrêt maître d'oeuvre.

Nous examinerons les points suivants:

- décomposition du tarif de location,
- variation des dépenses de l'entrepreneur,
- bénéfice de l'entrepreneur.

./.

321 - Décomposition du tarif de location

Les postes de dépense sont les suivants :

- Frais de personnel	(15 à 20 %)
- Frais d'entretien	(10 à 15 %)
- Frais généraux	(7 %)
- Frais financiers	(6 à 8 %)
- Amortissement	(20 à 40 %)
- Imprévus et bénéfices	(5 à 15 %)

Il est difficile d'évaluer les dépenses à la charge de l'entrepreneur. Les chiffres indiqués ci-dessus sont donc très arbitraires.

322 - Variation des dépenses de l'entrepreneur

a) Les dépenses de personnel et d'entretien varient en fonction de la position géographique de l'engin et du degré de développement de la région côtière.

La même unité travaillant dans le Golfe de Gascogne nécessitera des dépenses de personnel et d'entretien de 10 000 et 7 500 F/j quand ces dépenses sont 8 000 et 6700 F/j dans la Mer du Nord.

Par ailleurs les possibilités d'emploi de personnel local permettront de diminuer le nombre des expatriés.

Le tableau ci-dessous donne la décomposition du personnel à bord d'une auto-élévatrice travaillant en Afrique. La décomposition du travail en deux postes, plus un de réserve, est visible sur ce tableau. On voit également que l'économie portera sur l'emploi de manoeuvres, d'accrocheurs et d'hommes de clé. Le gain est donc assez faible car il concerne un personnel peu qualifié. Ce gain sur le personnel local sera largement contrebalancé par le supplément de coût résultant de l'éloignement des expatriés.

./.

	Expatriés	Local
Base		
Chef de mission	1	
Agent administratif	1	
Technicien	1	
Auto-élévatrice		
Chef de chantier	2	
Chef de pont	2	
Secrétaires, radio	2	
Grutiers	3	
Manoeuvres	-	15
Cuisines	3	
Foreurs		
Chef de poste	3	
Second	3	
Accrocheur	-	3
Sondeur de plancher	-	9
Mécanicien-électricien		
Chef mécanicien	2	
Chef électricien	2	
Mécanicien,électricien	3	
Total : 55 hommes	28	27

Personnel travaillant à bord d'une auto-élévatrice en Afrique

b) La rémunération de l'entrepreneur peut également varier en raison

- des modalités du contrat,
- des caractéristiques du support,
- de la loi de l'offre et de la demande.

Le premier point est évident : suivant les prestations à la charge de l'entrepreneur le tarif doit varier. Un point important est la durée contractuelle : les entrepreneurs peuvent adopter des tarifs dégressifs de façon à encourager une utilisation plus longue de leur matériel et à faciliter l'amortissement.

Exemple : pour une auto-élévatrice de 46 MF on a des réductions du tarif activité de 25 % la première année et de 10 % la deuxième année.

./.

Les caractéristiques du support, ses possibilités techniques, le coût de sa construction et son âge influent également.

Mais, étant donné la rareté relative des supports vis-à-vis de l'activité de forage en mer, ce qui détermine le prix de location du support en dernier ressort est la loi de l'offre et de la demande.

Le tarif moyen des auto-élévatrices et des semi-submersibles est à peu près équivalent : il varie entre 40 000 F/j et 70 000 F/j hors assurance.

Le tarif des bateaux est un peu plus faible, il se situe entre 40 000 et 50 000 F/j hors assurance.

323.- Le bénéfice de l'entrepreneur

Nous allons estimer les bénéfices rapportés par un support de forage d'exploration pendant les 5 premières années de son utilisation. Sa valeur d'achat, prêt à commencer son premier puits, est 40 MF. Nous supposerons que la rémunération hors assurance est de 50 000 F/j. Les calculs sont effectués au tableau fig.(323,I).

Nous supposerons que l'entrepreneur a dû emprunter 75 % de la valeur d'achat soit 30 MF.

Le programme d'amortissement rapide utilisé représente la plupart des résultats obtenus dans les services fiscaux d'Europe et d'Amérique du Nord.

Au bout de 5 ans l'entrepreneur a net en caisse : 12,81 MF; au point de vue recettes en espèces les bénéfices rapportés par une unité de forage sont très faibles pendant les cinq premières années.

Le bénéfice se manifeste dans le droit de rachat : au moins cinq années de bonnes opérations sont nécessaires pour gagner le droit de propriétaire.

La dépréciation moyenne de l'unité considérée ici est de 85 % après cinq ans. L'unité ayant été livrée prête à forer il faut soustraire de la valeur initiale la valeur du train de tige et autres pièces. En estimant cette somme à 3 MF, la valeur de l'unité après 5 ans est donc : 37 x 0,85 = 31,5 MF.

Le bénéfice de l'opération est donc 44,3 MF, chiffre qu'il faut rapprocher de la mise initiale de l'entrepreneur qui était de 10 MF.

Ce calcul a été fait dans des hypothèses très optimistes car dans la réalité il est difficile pour l'entrepreneur d'assurer une utilisation à 100 % de son unité pendant les cinq premières années.

./.

33 - L'assurance

Le problème de l'assurance pour les travaux de forage en mer revêt une ampleur bien plus considérable qu'à terre. Des risques nouveaux, liés à la mise en oeuvre des plates-formes, supports de l'outil, apparaissent, et la gravité des risques est d'un autre ordre de grandeur.

Pour se rendre compte de la nature des risques on peut se référer à la liste, assez longue, des accidents survenus depuis l'avénement des forages en mer. La plupart - environ 40 - se sont produits à la suite de conditions météorologiques particulièrement défavorables : ouragans, tempêtes et grosse mer. Parmi les causes possibles on trouve aussi les éruptions (10) suivies ou non d'incendie. Enfin on compte encore une dizaine de plates-formes hors service à la suite de manoeuvres plus ou moins heureuses : 5 ont chaviré à la suite de l'enfoncement d'une pile, 3 autres au remorquage, une autre aurait sauté sur une mine en mer de Chine, etc. La gravité des risques encourus tient aux pertes possibles en vies humaines et surtout aux dégats matériels en raison du coût de construction élevé.

Dans ces conditions, le maître d'oeuvre et l'entrepreneur chercheront à se couvrir contre le maximum de risques et les compagnies d'assurance à appliquer un tarif convenable. Nous indiquerons comment ces deux problèmes ont été résolus jusqu'à présent et de quelle façon on peut envisager l'évolution des rapports entre assureur et assurés.

331 - Les risques couverts

a) Accidents du travail et responsabilité civile de l'employeur.

Le maître d'oeuvre et l'entrepreneur souscrivent une assurance pour garantir leur responsabilité à l'égard du personnel qu'ils emploient conformément à la législation du pays d'origine des employés et du pays de la zone de travail.

b) Responsabilité civile générale.

Le maître d'oeuvre et l'entrepreneur souscrivent, chacun en ce qui le concerne, ou bien l'entrepreneur sur la demande du maître d'oeuvre souscrit tant pour son compte que pour celui du maître d'oeuvre une police garantissant leur responsabilité civile à l'égard des tiers à l'occasion de tous travaux nécessaires ou utiles à la recherche et à l'exploitation de tout forage en mer.

Le montant de la garantie est 50 MF par événement (dommages corporels et matériels confondus) avec une franchise de 125 000 F.

Pour couvrir la franchise de 125 000 F de la police précédente, le maître d'oeuvre et l'entrepreneur souscrivent une police dite de première ligne laissant cependant à la charge des assurés une nouvelle franchise de 10 000 F en cas de dommages matériels.

./.

c) Police tous risques.

L'entrepreneur souscrit pour son propre compte et généralement pour le compte du maître d'oeuvre une police tous risques.

Cette police couvre tous les matériels appartenant au maître d'oeuvre et à l'entrepreneur. Elle couvre également les biens de certaines sociétés de service qui louent leur matériel au maître d'oeuvre en imposant à ce dernier de l'assurer.

Cette police couvre tous les dommages matériels et les pertes, y compris ceux dûs au relief, à la nature et aux mouvements du sol marin, ainsi que ceux dûs aux négligences, aux grèves et aux émeutes. Sont également couverts les risques supportés au cours du remorquage, de la mise en place, de la mise en flottaison ainsi que les frais d'avarie commune, d'assistance, de sauvetage et de repêchage.

Sont exclus de la garantie :

- les dommages résultant de naufrage intentionel ;
- les dommages résultant d'usures et déchirures, de détérioration graduelle, de fatigue du métal, de panne de machinerie, de changement de température, de corrosion, rouille, action électrolytique, erreur de conception du support;
- les dommages causés à l'outil de forage en sous-sol ou sous l'eau autres que ceux consécutifs à un incendie, une tempête, une éruption;
- les dommages causés aux hydrocarbures éventuellement mis à jour, aux consommables effectivement employés, aux appareils électriques à la suite d'une perturbation électrique;
- les dommages consécutifs à un délai résultant d'un accident même couvert;
- les frais résultant du forage d'un puits de secours;
- les frais résultant de la saisie de la plate-forme.

Le montant de la garantie est la valeur de la plate-forme, du matériel et des consommables déclarés par les assurés.

On doit déduire une franchise de 250 000 F par sinistre pour la plate forme et le matériel, et une franchise de 25 000 F par sinistre pour les consommables. Cette franchise ne joue pas en cas de perte totale.

332 - Le coût de l'assurance

Les primes d'assurances, la prime d'assurance tous risques, en particulier, atteignent actuellement des niveaux très élevés et constituent une charge appréciable pour le prix de revient du forage en mer. Elles peuvent atteindre 20 % du tarif journalier de l'entrepreneur soit 10 % du coût opérationnel et peuvent même compter pour un tiers dans le coût global de l'amenée ou du repli des plates-formes.

./.

On peut trouver à cette situation deux explications qui ne sont pas complétement étrangères l'une à l'autre. Le marché de l'assurance est un marché très étroit dont la concurrence est pratiquement absente. Une série de catastrophes en 1964 et 1965 a amené les compagnies à réviser leurs baremes en hausse.

a) Le marché de l'assurance

Quelques compagnies américaines acceptent à l'heure actuelle de couvrir, dans certaines limites, le risque pétrolier en mer, mais seul le marché londonien est en mesure de fournir une garantie plus étendue. La souplesse et la faculté d'adaptation de ce marché - rappelons qu'il s'agissait là d'un risque entièrement nouveau à couvrir - est rendue possible par son organisation.

Les 5 000 membres du Lloyd's sont groupés en syndicats spécialisés dans un type d'assurance. Chaque syndicat a à sa tête un chef de file qui examine individuellement tous les risques soumis.

Les termes du contrat sont repris par toutes les autres compagnies et si telle ou telle rencontre des difficultés d'application le "leader" peut amender ses contrats.

Aux Etats-Unis le développement d'un marché organisé de manière semblable et qui pourrait entamer le monopole de Londres ne se heurte pas à la capacité des compagnies d'assurance mais à la concurrence qu'elles se livrent et de toute manière à la loi anti-trust.

De plus les mésaventures survenues récemment aux compagnies anglaises, l'étroitesse du parc des engins au regard de la nécessaire répartition des risques ne prédisposent pas les compagnies américaines à se lancer vraiment dans cette nouvelle voie.

Il existe à l'heure actuelle un syndicat d'assureurs outre atlantique: l' "American Marine Drilling and Exploration Association" dont on ne peut affirmer qu'il résisterait à une grosse catastrophe.

b) L'évolution des taux

Les taux d'assurance ont été recherchés par tâtonnement, personne ne connaissant à l'avance l'étendue et la probabilité des risques. Suffisants au début (forages en eau calme peu profonde) ils se sont révélés substantiellement inadéquats par la suite.

Après avoir connu quelques fluctuations, ils ont fortement augmenté récemment. La raison en est l'importance des pertes subies au cours des dernières années. On estime à 100 MF le coût de l'ouragan Hilda en 1964 dans le Golfe du Mexique et à 150 MF celui de Betsy en 1965, auquel vient s'ajouter la même année la perte de cinq plates-formes, pour un montant approximatif de 125 MF.

./.

La disparition de la ROGER BUTTIN en février 1966 a donné le coup de grâce sinon à la Lloyd's, du moins à l'ancien régime.

En ce qui concerne les plates-formes fixes la prime d'assurance tous risques, initialement au niveau de 2 %, a été multipliée par 2,5 dans le Golfe de Mexique, par 3 dans la Mer du Nord et 3,5 en Alaska.

La prime d'assurance des plates-formes mobiles a été également réévaluée. Une première estimation a donné un taux supposé unique de 12 %. En fait le tarif maximum pratiqué actuellement est de 9,75 % contre 4,5 % auparavant, avec une franchise de 1 % et comprise dans les limites 250 000 F - 500 000 F.

Cette situation est provisoire, elle permet aux compagnies d'assurance de reprendre le souffle, la conjonction Hilda-Betsy ayant statistiquement un caractère exceptionnel. En effet la prime d'assurance doit tenir compte du type de plate-forme et éventuellement du lieu de travail. L'expérience devrait permettre de ramener le taux moyen aux environs de 6 %, les plates-formes auto-élévatrices seraient les plus pénalisées, suivies des semi-submersibles; les barges non propulsées et les bateaux de forage, dont le comportement est plus marin, supporteraient des taux réduits.

On peut attendre ce réaménagement des tarifs d'une concurrence accrûe entre les compagnies d'assurance anglaises et américaines.

Pour les déménagements de longue durée le taux de l'assurance doit être discuté pour chaque cas particulier. Le taux dépend du point de départ, de la destination, de la route suivie, de l'époque de l'année et de la compagnie qui assure le remorquage.

Pour le déménagement d'une auto-élévatrice prévu pour durer 30 jours (3 000 milles) le taux d'assurance peut atteindre 3 à 4 % et même 7 % dans certains cas. Ce taux élevé trouve sa justification dans le fait qu'un nombre élevé de sinistres sont survenus pendant le remorquage ou les préparatifs de remorquage.

Pour les déplacements sur le champ il n'y a pas de taux spécial.

c) Récapitulation des taux actuels

Police responsabilité civile

- 1er cas : police couvrant le maître d'oeuvre et l'entrepreneur
  1ère ligne 0,15 %
  2ème ligne 0,20 %

prime assise sur le montant des travaux (sur la base du tarif journalier).

- 2ème cas : le maître d'oeuvre et l'entrepreneur souscrivent séparemment une police
  Maître d'oeuvre 0,20 % du montant des salaires + 0,05 % du montant des travaux
  Entrepreneur : prime non connue.

./.

Police tous risques

- plates-formes auto-élévatrices et semi-submersibles :

9,75 % de la valeur à neuf

- bateaux de forage : prime variable de 4 à 6 % suivant la valeur du support, le lieu de l'opération

- surprime de 0,0875 % pour risques de guerre

- consommables 7 %

34 - Le coût de déménagement et de la mise en place

Nous distinguerons les opérations suivantes :

- armement, désarmement;)mobilisation
- amenée, repli;)démobilisation
- déplacements sur le champ;
- mise en place et opération inverse.

Les opérations d'armement et de désarmement concernent la préparation du support en vue de son voyage océanique et les modifications éventuelles requises par le contrat de forage.

Les opérations d'amenée et de repli concernent le déménagement du support jusqu'à et depuis le théâtre des opérations.

Les déplacements sur le champ sont les opérations de déménagement de puits à puits.

Les opérations de mise en place sont les manoeuvres à faire pour amener l'unité depuis la position de remorquage jusqu'à la position de forage. Dans le cas des plates-formes auto-élévatrices il faut abaisser les piles et faire les opérations de préchangement des piles pour les ancrer convenablement au fond de la mer. Dans le cas des semi-submersibles il faut remplir les ballasts de façon à passer de la position lège à la position de forage puis prendre les amarres. Pour le cas des bateaux il faut prendre les amarres.

Chacune de ces opérations se traduit par une durée et un coût que nous allons analyser. Nous donnerons ensuite quelques exemples.

341 - Armement, désarmement

Les prix sont très variables car ils dépendent des modalités du contrat des caractéristiques du support, du trajet lui-même etc...

L'armement ou le désarmement peut coûter de 0,5 à 1,5 MF.

./.

342 - Amenée, repli

La vitesse moyenne de déplacement des barges tractées et des bateaux auto-propulsés se situe entre 5 et 7 noeuds.

Celle des auto-élévatrices est beaucoup plus faible et varie entre 3 et 4 noeuds.

La vitesse moyenne de déplacement dépend du déplacement du support de ses caractéristiques hydrodynamiques, et de la puissance de remorquage utilisée.

Pour remorquer l'ILE DE FRANCE, auto-élévatrice de 12 000 tonnes, à la vitesse de 3 à 4 noeuds il faut une puissance de remorquage de 6 à 8 000 CV.

La vitesse de remorquage est limitée par les possibilités de résistance de la structure et par la puissance des remorqueurs disponibles sur le marché.

La compagnie SEDCO aurait effectué le remorquage d'une semi-submersible à 10 noeuds mais cette information demande à être vérifiée.

La durée de l'amenée et du repli sera conditionnée par la vitesse moyenne de déplacement de l'unité remorquée, par la distance du parcours, par les caractéristiques océanographiques du trajet, par l'époque à laquelle l'opération s'effectue etc...

Le coût de l'amenée et du repli se compose de 3 postes ; l'immobilisation du support c'est à dire le tarif de l'entrepreneur, le coût du remorquage lui-même et l'assurance spéciale pour le remorquage.

Le coût peut être réglé à l'entrepreneur forfaitairement ou en régie. Dans le premier cas l'entrepreneur propose un tarif forfaitaire qui comprend une marge suffisante pour couvrir les risques pris par l'entrepreneur. Dans le second cas le maitre d'oeuvre rémunère l'entrepreneur au vue des factures et pour une opération qu'il peut contrôler, c'est lui qui prend les risques.

a) Immobilisation du support (tarif de l'entrepreneur).

Suivant les modalités du contrat il s'agit du tarif arrêt maître d'oeuvre ou bien d'un tarif spécial. On peut citer pour un bateau type WODECO III ou V un tarif de 25 000 F/j.

Pour une auto-élévatrice le tarif peut varier de 30 000 F/j à 45 000 F/j.

./.

b) Tarif remorqueurs

Il s'agit de ce que le maître d'oeuvre paye auprès de la société de remorquage.

Le plus souvent le tarif est forfaitaire.

Le coût de 2 remorqueurs totalisant 8 000 CV, pendant une opération estimée à 30 jours est 540 000 F environ.

La puissance maximale unitaire des remorqueurs actuellement disponibles est 9 000 CV (ZWARTE ZEE). On trouve plus facilement des remorqueurs d'une puissance de 4 000 à 4500 CV.

c) Coût de l'assurance (cf. 332).

Comme dans le cas de l'assurance en position de forage, ce coût s'exprime par un taux de la valeur assurée et par une franchise. Le taux n'est plus annuel mais concerne l'opération elle-même, quelle que soit sa durée réelle.

Le taux dépend des caractéristiques du parcours, du type de l'unité et de la compagnie de remorquage, certaines compagnies étant réputées meilleures que d'autres auprès des assureurs.

Pour une opération de 30 jours et pour une auto-élévatrice, le taux d'assurance peut s'établir de 3 à 4 %.

d) Exemples de coût de l'amenée et du repli.

Donnons l'exemple du calcul du coût de l'amenée d'une auto-élévatrice. L'opération doit durer environ 30 jours ce qui correspond à une distance de 2 000 à 3000 milles.

Remorquage :

8 000 CV pendant 1 mois..... 560 000 F

Assurance :

Valeur assurée 25 MF.....1 000 000 F
Taux 4 %

Immobilisation support :

Tarif 28 000 F/j..... 840 000 F
Pendant 30 jours

Total : 2,40 MF

./.

Le tarif forfaitaire qu'aurait pu proposer l'entrepreneur aurait pu prendre une marge de 20 jours supplémentaires c'est à dire majorer le chiffre obtenu de 20 x 28 000 F soit 560 000 F et proposer 3 MF.

Lorsqu'un entrepreneur veut déménager une unité d'un point A à un point B, étant donné une couverture météorologique de 30h par exemple, il doit prévoir entre A et B des points de repli C_1, C_2... tels que l'on puisse à chaque instant s'y réfugier en moins de 30h. Le tarif forfaitaire proposé par l'entrepreneur est calculé dans une certaine hypothèse, mauvaise, et tient compte des durées d'attente et des réparations éventuelles.

Le tableau de la fig. (342,I) donne la corrélation entre le coût de l'amenée ou du repli et la distance du parcours. Ce tableau résulte d'une enquête sur les prix des déménagements. Ces données n'ont qu'une valeur indicative destinée à fournir un ordre de grandeur. La corrélation est assez lache, étant donné les différents paramètres qui entrent en jeu dont certains sont aléatoires : âge du support, durée du contrat, époque de l'année, conditions météorologiques etc...

343 - Déplacements sur le champ

La structure du coût est assez analogue au coût de l'amenée ou du repli. Seules les distances, donc les temps d'immobilisation et les coûts sont plus faibles. Par ailleurs les risques sont moins grands car si le déplacement peut se faire en un temps inférieur au préavis météorologique on peut choisir un moment particulièrement propice à cette opération. Les taux d'assurance ne sont donc pas majorés.

344 - Mise en place et opération inverse

Le coût dépend du temps et des moyens nécessaires.

Indiquons que les opérations de prise des amarres peuvent durer de 15 à 20 heures. Pour une semi-submersible ou une auto-élévatrice le temps nécessaire pour passer de la position lège à la position de forage est de quelques heures.

Par ailleurs un certain nombre de coûts fixes peuvent intervenir: pose préalable des ancres etc...

35 - Le coût du ravitaillement et des moyens de transport annexes

La mise en oeuvre des supports nécessite des moyens de transport annexes. C'est un poste de dépense important puisqu'il peut atteindre 10 à 15 % du coût opérationnel.

./.

351 - Les transports par mer; les navires de services

Trois types de navires peuvent être utilisés, répondant à trois utilisations différentes :

- les navires de ravitaillement en produits lourds, ciments, carburants, produits à boue (supply boat),

- les vedettes assurant le transport du personnel (crew boat)

- les navires de"stand by" restant à proximité de l'unité pour des raisons de sécurité.

En dehors des utilisations précédentes on peut utiliser les navires en tant que remorqueurs, ils peuvent également être utilisés pour mouiller ou pour relever les ancres.

Le navire de ravitaillement type "Golfe du Mexique" est employé avec succès au Nigéria et dans le Golfe Persique et peut être considéré comme assez bien adapté aux mers calmes.

La série des navires type LADY DIANA dérivés du SHELL DOLPHIN est prévue pour les conditions plus rigoureuses de la Mer du Nord tout en répondant aux réglementations européennes et aux prescriptions du Bureau Véritas. Ils sont conçus pour rester en dessous de la limite des 500 tonneaux de jauge brute.

Le type SMIT LLOYD est nettement plus gros et plus puissant, il est dérivé des remorqueurs de haute mer. Il est muni d'un "A Frame" (chassis de manutention) arrière de 33 t et d'un treuil de 105 T pour la manoeuvre des ancres.

On peut citer enfin le "crew boat" type BLUE FISH qui répond à un besoin général sur tous les champs en mer : c'est un remorqueur rapide et puissant pouvant transporter des passagers et du ravitaillement.

Le tableau suivant donne les caractéristiques principales de ces différents types et les coûts de construction.

./.

Catégorie	Dimensions et Déplacement	Vitesse	Charge utile	Coût	Remarques
Golfe du Mexique	50 mx11,5 mx3,6 m 700 à 800 dwt	12 noeuds	gas-oil 150 T eau 600 T ciment 200 T	2à2,5 MF	mer calme A frame 30 T treuil 60 T
LADY DIANA	48,60mx10mx3,55m 670 dwt	11,5 noeuds	G.O. 166 T eau 418 T ciment 120 T 12 passagers	4 MF	Mer du Nord Hélice d'étrave pont : 200 à 210 m2
SMIT LLOYD	59,74mx11,72mx4,1m 700 dwt		G.O. 275 T eau 360 T ciment 125 T	5,6 MF	Mer du Nord Hélice d'étrave pont : 255 m2 A frame 33 T treuil 105 T
"Crew boat" BLUE FISH	38 mx2,4 m 700 dwt	15 noeuds			

Les bateaux de service, exemples

Il est probable que nous allons encore assister à une certaine évolution dans la construction des navires de service résultant de la diversification et de l'augmentation de la taille des supports.

Cette évolution se fera toutefois lentement, le nombre des "supply boats" type Mer du Nord qui doivent être amortis étant suffisant actuellement pour desservir les zones difficiles.

Les tarifs de location contractuels des navires de service tiennent compte du forfait de l'amenée ou du repli et dépendent des opérations réelles effectuées par le navire et du lieu de ces opérations.

Le coût pour le maître d'oeuvre doit prendre en compte, non seulement le tarif de location contractuel, mais suivant les modalités du contrat les salaires l'entretien, le carburant etc...

Citons les chiffres suivants (source CFP) :

- Sénégal 1966
  bateau de ravitaillement 4 200 à 4 600 F/j
  bateau de relève 2 200 à 2 400 F/j
  total 2 ravitaillement
  + 1 relève 11 000 à 12 000 F/j

./.

- Golfe Persique
  bateau de ravitaillement (y compris salaires, entretien, carburants) 4 700 F/j
  bateau de relève 25 personnes 1 500 F/j

- Golfe de Gascogne
  cargo barge 100mx30m
  immobilisation 7 500 F/j
  location activité 10 000 F/j

- Mer du Nord
  bateau de ravitaillement
  type LADY DIANA 5 300 F/j
  bateau de "stand by" 470 F/j

352 - Les transports par air, les hélicoptères

Les hélicoptères sont de plus en plus utilisés pour assurer les transports de personnels et même de matériels.

On peut citer les avantages suivant sur les transports par mer :

- voyage rapide,
- peuvent être utilisés même si le vent est trop fort pour les bateaux,
- pas de mal de mer,
- contrôle technique journalier.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques techniques et économiques des principaux matériels. (source CFP et référence (8)).

Dénomination	charge utile(kg)	passagers	Vitesse (km/h)	Autonomie	Coût journalier	Remarques
BELL 4762	250	3	120	2h30	900 F/j + 75 F/h	Golfe du Mexique 1963 (y compris carburant)
BELL 2A	425	2	120	3h30	1 000 F/j + 75 F/h	idem.
BELL 47 J	350	3	120	2h30	1 125 F/j + 75 F/h	idem.
ALOUETTE II	425	4	120	300 km	1 740 F/j + 340 F/h	Golfe Persique
ALOUETTE III	765	6	170	200 km		idem.
SIKORSKY S56	800	8	140	4h	1 750 F/j + 325 F/h	Golfe du Mexique 1963 (y compris carburant)
WESTLAND 55	1 500	10	160	800 km	2 700 F/j + 440 F/h	Golfe Persique
SIKORSKY S 58	2 000	12	160	3h	3 500 F/j + 750 F/h	Golfe du Mexique 1963 (y compris carburant)
BELL IROQUOIS 204 B		14	190		1 800 F/h 2 340 à 3 000 F/j	Contrat avec 40 à 50 h de vol par mois minimum

./.

353 - Le coût global des transports

Nous citerons l'expérience de la TOTAL OIL MARINE en Mer du Nord pour voir de quelle façon on peut optiminiser l'utilisation des différents moyens (cf référence (9)).

On a utilisé des bateaux de ravitaillement type LADY DIANA et un bateau de relève type MASTER BRUNO. Un hélicoptère SYKORSKY S 61 a également été utilisé.

Le tableau fig.(353,I) résume le coût des transports pour quatre forages en Mer du Nord.

On voit sur ce tableau que les tonnages transportés par les navires de ravitaillement sont très faibles (LADY DIANA charge utile 600 T, tonnage par mouvement 30 T) et ne justifient pas l'utilisation de deux bateaux.

En revanche l'utilisation de gros hélicoptères en Mer du Nord s'est avérée plus sûre et moins chère que l'utilisation des bateaux de relève.

Remarquons enfin que sur le dernier chantier, sur un puits foré en plein hiver et loin des côtes, le coût journalier du ravitaillement a été plus faible, ce qui montre que l'on peut optimiser l'utilisation des moyens disponibles compte tenu de l'expérience acquise.

Etant donné les contraintes d'approvisionnement et de sécurité, le coût des transports est plus onéreux pour les auto-élévatrices et les semi-submersibles car il faut prévoir un ou deux bateaux de "stand by". Il est moins éleve pour les bateaux auto-propulsés ou tractés surtout si la capacité de stockage est importante.

Il faut tempérer cette remarque par le fait que, dans le cas des auto-élévatrices ou semi-submersibles, un des deux bateaux ravitailleurs pourra être utilisé en "stand by".

36 - Le coût des services annexes (hors forage)

Les services annexes hors forage sont principalement

- les plongeurs
- service météorologique
- base terrestre et service de télécommunication

./.

361 - Les plongeurs

Suivant le type d'engin utilisé et la profondeur des fonds les plongeurs sont plus ou moins utiles.

Suivant la nationalité des plongeurs et les techniques employées les tarifs peuvent changer.

On peut citer comme prix de revient des opérations de plongée 3 000 à 5 000 F/j.

362 - Service météorologique

Il est absolument indispensable quel que soit le type de support. Citons comme prix de revient journalier du service météorologique 100 F/j.

363 - Télécommunication et base terrestre

On doit traiter ces deux postes ensemble car le support étant en communication constante avec sa base opérationnelle il est difficile de démêler les coûts ressortissant à chaque poste.

Le coût de fonctionnement en activité d'une base terrestre peut atteindre 4 000 à 5 000 F/j.

Le prix de revient des télécommunications intervient dans ce coût pour 600 à 700 F/j (location du matériel et redevances).

Le coût de fonctionnement en "stand by" est beaucoup moins important 1 000 à 2 000 F/j.

37 - Les frais de forage

Le coût du forage lui-même intervient sous forme de frais proportionnels à la journée, sous forme de frais proportionnels aux mètres forés (tangibles) et sous forme de frais fixes.

371 - Les frais proportionnels à la journée

Il s'agit des services de forage nécessitant la présence de personnels et de matériels à poste fixe ainsi que des consommations en fuel, boue, eau, à peu près constantes chaque jour.

Ces frais en forage d'exploration sont un peu plus importants qu'à terre. Car s'il est facile de mettre en place le cadre géologique du bassin et d'en tracer la structure, la stratigraphie demeure inconnue dès qu'on s'éloigne des côtes : il y a donc tout intérêt à faire le maximum de mesures et de contrôles sur un puits d'exploration en mer.

372 - Les frais proportionnels aux mètres forés

Il s'agit essentiellement du coût des "casings", des outils, du ciment, des opérations électriques. Ces coûts dépendent du programme de forage et des caractéristiques stratigraphiques du sondage (plus ou moins grande forabilité).

./.

373 - Les frais fixes

Il s'agit par exemple du matériel de tête de puits sous-marine dans le cas des supports flottants. Quelques fois cette tête de puits appartient à l'entrepreneur et intervient comme majoration du tarif entrepreneur.

Le tableau suivant donne un exemple des dépenses de forage dans deux cas : exploration et développement.

	Cas 1 Exploration	Cas 2 Développement
Frais proportionnels à la journée	F/j	F/j
a) services		
Cimentation - test	2 000	1 000
Opérations électriques	1 750	1 000
Contrôle géologique	1 250	1 000
Contrôle boue	1 000	
b) consommables		
fuel-eau	2 500	2 000
produits à boue	3 500	3 000
divers	2 000	
TOTAL	14 000 F/j	8 000 F/j
Frais proportionnels aux mètres forés	F/m	F/m
casing et équipement	175	175
outils	30	30
ciment	20	20
opérations électriques	50	50
divers	25	25
TOTAL	300 F/m	300 F/m
Frais fixes	F	
matériel tête de puits	250 000	

Cas 1 : bateau de forage avec tête de puits sous-marine, objectif 4 000 m.

Cas 2 : compact Rig sur plate-forme fixe pouvant faire plusieurs puits déviés, objectif 4 000 m.

Les frais journaliers de forage (Source référence (5))

./.

Nous allons indiquer comment varie le coût des forages en mer pour le maître d'oeuvre suivant le type de l'opération-exploration ou développement- suivant les caractéristiques de l'engin et suivant le lieu géographique.

381 - Exploration

Le tableau fig.(381,I) donne les résultats obtenus pour 14 opérations effectuées par des sociétés françaises opératrices ou bien associées.

La moyenne des dépenses, donnée au tableau suivant , bien que se rapportant à un nombre limité d'opérations, permet de se rendre compte de l'importance relative des divers postes de dépense.

	F/j	%
Rémunération entrepreneur et assurance	54 000	50,5
Transports (ravitaillement, déplacement)	13 500	12,6
Services (hors forage)	6 300	5,9
Forage (y compris tangibles)	24 400	22,8
Frais généraux et supervision	8 800	8,2
Total (hors amenée-repli)	107 000	100

Moyenne des dépenses journalières sur 14 opérations de forage (cf. fig.(381,I)

Les deux postes importants sont la rémunération de l'entrepreneur 51 % et les dépenses de forage 23 %.

Le tableau fig.(381,I) montre que les dépenses journalières sont assez stables sauf en ce qui concerne les dépenses de forage. Les coûts journaliers varient peu en mer, ce qui est très différent du forage terrestre. En revanche les coûts par mètre sont beaucoup plus dispersés en raison de fluctuations plus grandes des avancements dues à des conditions de forabilité et des taux d'utilisation très différents.

Les transports s'entendent hors amenée-repli, ils comprennent les déplacements sur le champ et les ravitaillements.

Le tableau fig.(381,II) permet de faire des comparaisons avec le forage terrestre et de voir les variations suivant le lieu de l'opération.

On remarque la faiblesse relative des coûts des forages effectués aux USA.

Le coût moyen des forages en mer, d'exploration et de développement, faits aux USA, en 1962, est 50 000 F/j et 590 F/m.

Le mètre foré coûte 570 F en Louisiane, 1030 F en Californie, 640 F au Texas et 920 F en Floride. La faiblesse des coûts s'explique par le fait que les conditions météorologiques sont clémentes et surtout que le nombre total des forages est très élevé. En 1962 on a foré aux USA 760 puits, dont 706 en Louisiane, à une profondeur moyenne de 3 000 m.

./.

382.- Développement

Actuellement il n'est pas possible de produire à grande profondeur : les forages de développement se font donc surtout à partir de plates-formes fixes et parfois avec des auto-élévatrices.

Si l'on fait 1 ou 2 forages par plate-forme, on utilise une plate-forme fixe assistée d'un tender. Si l'on doit faire un grand nombre de puits dirigés par plate-forme on utilise un rig compacté installé sur une plate-forme importante.

Quand on utilise une plate-forme auto-élévatrice, une plate-forme fixe de production est ensuite installée autour du tube conducteur.

Les dépenses journalières de développement sont moins importantes que les dépenses d'exploration. Nous retiendrons que les coûts moyens de développement sont de 60 à 70 mF/j.

Le tableau ci-dessous donne un exemple de répartition des coûts. Le tableau fig(382,I) permet de faire des comparaisons suivant la technique de développement adoptée.

Mètres forés	m	4 000
jour	j	100
avancement	m/j	40
Appareil		25 000
Transports		
Bateaux		5 000
Hélicoptères		2 000
Locations et prestations diverses		1 000
Forages SPE		2 200
Cimentation et Test		1 000
Consommation		18 200
Frais généraux		6 000
Supervision		
TOTAL F/j		60 400

Coût journalier de développement compact rig objectif 4 000 m (F/j)

40 - Généralités

Le problème central de la recherche pétrolière en mer est, pour le maître d'oeuvre, de déterminer les engins à contracter en vue de tirer parti des permis qu'il possède.

Ce problème peut être défini par un ensemble de conditions initiales portant sur les engins et sur les permis et par un certain nombre de contraintes.

Pour les engins de forage on peut établir une liste donnant les caractéristiques des plates-formes, leur localisation, les dates de disponibilité, les possibilités de construction etc...

Pour les permis on peut définir pour chacun d'eux un coefficient d'urgence qui tient compte des probabilités de succès et des contraintes temporelles concernant les rendus. D'autre part un certain nombre de contraintes techniques concernant les engins susceptibles d'intervenir peuvent être associées à chaque permis. Enfin les caractéristiques météo-océanographiques des lieux doivent être prises en compte.

Par ailleurs, le maître d'oeuvre est soumis à une contrainte budgétaire, à savoir : l'enveloppe des dépenses maximum admissibles au cours du temps.

Toute affectation de plates-formes aux permis, satisfaisant à l'ensemble des conditions imposées, constitue un programme faisable pour lequel on peut calculer un coût et un délai. Dans l'absolu les coûts et délais sont probabilisés : on peut définir un coût et un délai moyen à partir des conditions océanographiques moyennes et voir de quelle façon coût et délai peuvent fluctuer autour de cette valeur moyenne.

C'est à ce niveau qu'interviendra la sécurité plus ou moins grande présentée par les engins.

Le choix d'un programme parmi les programmes faisables exigera alors un arbitrage coût - sécurité - urgence.

Afin de mieux définir les éléments de cet arbitrage nous porterons d'abord notre attention sur le parc des engins afin de dégager les éléments permettant une comparaison des différents types de support.

Nous donnerons ensuite quelques indications à propos des choix : estimation des risques, importance de la durée et des délais, établissement des programmes.

.../...

Enfin nous ferons quelques remarques sur l'évolution possible des techniques actuelles de forage en mer.

Nous avons utilisé, dans cette dernière partie, une approche identique à celle d'une étude de l'I.F.P. citée à la référence (10).

41 - Comparaison des engins

411 - Inventaire des supports - Coûts normaux

Afin de comparer les engins entre eux, on peut faire l'inventaire des supports existants et choisir des engins qui sont les plus représentatifs de chaque type et pour lesquels on dispose de renseignements concernant les possibilités techniques et les coûts. Nous avons retenu :

a) Plates-formes auto-élévatrices

NEPTUNE I

ILE de FRANCE

b) Plates-formes semi-submersibles

SEDCO 135 : plate-forme standard

PENTAGONE 81 : plate-forme ayant fait l'objet d'une certaine recherche d'amélioration .

c) Bateaux auto-propulsés

GLOMAR V : bateau de 6 000 t
GLOMAR SIRTE : bateau de 11 000 t
bateau non personnalisé de 30 000 t
bateau amélioré : catamaran E.W THORNTON

d) Barge tractée : MODECO V

Le tableau fig.(411, I) résume les caractéristiques techniques et économiques de ces engins.

Les coûts dépendent des conditions d'intervention sur place : on peut néanmoins définir des coûts correspondant à des conditions "normales", quitte à les modifier si besoin est .

Les dépenses du maître d'oeuvre interviennent sous forme :

- de coûts fixes
- de coûts journaliers (intangibles)

.../...

- de coûts proportionnels aux mètres forés
(tangibles ou coûts inéluctables)

Ces derniers coûts n'interviennent pas dans la comparaison entre engins puisqu'ils sont les mêmes quel que soit le type de support retenu.

Dans les coûts journaliers il faut cependant faire intervenir les dépenses de forage (services de forages, géologie etc...) même si elles sont les mêmes pour tous les supports, car l'engin mettra plus ou moins de temps.

Le coût des opérations d'amené-repli fait intervenir un coût fixe important. Les coûts proportionnels sont obtenus à partir du tableau fig.(342, I) et à partir de cas réels.

On doit faire sur les chiffres obtenus un certain nombre de réserves. On s'est efforcé dans la mesure du possible de se raccorder aux cas réels et d'avoir des chiffres homogènes.

Si les valeurs absolues sont imprécises : on peut espérer que la précision est meilleure en valeur relative.

412 - **Coût opérationnel hors tangibles et amené-repli suivant les conditions d'intervention sur place.**

Nous avons établi le coût opérationnel suivant la durée du programme dans deux cas correspondant à des environnements caractéristiques.

Nous avons choisi comme site de base de comparaison le Gabon et la Mer du Nord parce que ces sites sont assez bien connus et qu'ils correspondent à des conditions météo-océanographiques très différentes : le Gabon présente un environnement relativement favorable pendant toute l'année ; la Mer du Nord, au contraire, présente un environnement assez hostile surtout en hiver.

Le détail des calculs est indiqué aux tableaux fig.(412, I), (412, II), (412, III). Le calcul est effectué à partir des coûts normaux et en faisant des hypothèses sur les taux d'utilisations. On a fait intervenir les déplacements sur le champ dans le cas du Gabon seulement.

Le programme de forage se traduit par une durée théorique de forage : c'est la durée des opérations sur place pour un taux d'utilisation égal à l'unité.

Aux fig.(412, IV), (412, V) et (412, VI) est représenté le coût opérationnel en fonction de la durée théorique de forage. Pour la Mer du Nord le coût opérationnel dépend, en toute généralité, de la date

.../...

à laquelle les opérations débutent. Nous nous sommes limités aux cas extrêmes : démarrage début été, démarrage début hiver.

Il faut faire sur les résultats obtenus un certain nombre de restriction :

a) Toutes les remarques déjà faites sur la signification du taux moyen restent vraies. Le taux dont il est question est un taux moyen qui correspond aux conditions océanographiques moyennes. Ces moyennes risquent de s'avérer très inexactes pour des périodes relativement courtes.

b) La détermination a priori du taux moyen, à partir des possibilités limites des engins, implique la prise en compte de coefficients de pénalisation qu'il est difficile d'estimer.

c) On a supposé que quand les opérations de forage étaient possibles, leur vitesse d'exécution ne dépendait pas du support. C'est une simplification qui pénalise les engins fixes par rapport aux engins mobiles. Il est certain que le seul fait pour un engin de bouger diminue le rendement des hommes et du matériel (mal de mer).

413 - Coût de l'amenée et du repli

Les possibilités de transports sont très différentes suivant les types.

On donne à la fig.(413, I) les courbes donnant le coût et la durée de l'amenée ou du repli par type d'engin suivant la distance. Ces résultats sont obtenus à partir des coûts normaux du tableau fig.(411,I).

Ces chiffres correspondant à des conditions moyennes,il pourra se produire des fluctuations importantes suivant les lieux considérés et en raison du caractère aléatoire de ces chiffres se rapportant à des opérations qui durent quelques mois.

Pour fixer l'importance relative des opérations de transport des différents engins on a dressé le tableau ci-dessous.

Ce tableau montre l'importance très grande du lieu de disponibilité des supports sur le choix définitif.

Donnons un exemple : le GLOMAR V et le NEPTUNE I ont des coûts journaliers comparables mais des rendements très différents. Si l'on suppose que l'utilisation du bateau fait perdre 30 j. de forage : le GLOMAR V sera préférable au NEPTUNE I si ce dernier est à une distance supérieure à 4 000 milles.

.../...

	"NEP I	IdF	SEDCO 135	P.81	GLOMAR V	G. SIRTE	30 000 t	WODECO V	E.W. THORNTON
Coût journalier sur place hors tangibles (KF)	93	97	102	112	91	96	96	96	99
Coût 30 jours de forage (MF)	2,79	2,91	3,06	3,36	2,73	2,88	2,88	2,91	2,97
distance correspondant à 30 jours de forage (milles)	3 600	1 900	2 800	3 000	13 000	15 000	15 000	9 700	19 000
distance correspondant à 30 jours de forage du GLOMAR V (milles)	4 000	3 700	5 000	4 300	13 000	14 000	14 000	9 000	17 000

Importance relative amenée-repli/opérations sur place.

42 - Choix des engins

421 - Estimation des risques

Il nous a été possible jusqu'ici d'établir le coût et la durée prévisionnelle d'une opération réalisée à l'aide d'un moyen déterminé.

Ce coût et cette durée se rapportent aux conditions océanographiques les plus probables, c'est-à-dire les conditions moyennes sur une grande durée. Mais dans la réalité les opérations ne durent qu'un temps limité, il y a donc une probabilité non négligeable que le coût réel diffère de ce coût moyen.

.../...

Les dépenses supplémentaires peuvent résulter d'un taux de travail très différent du taux prévisionnel. Le coût étant inversement proportionnel aux taux, les fluctuations relatives de coût et de taux sont égales. Il en résulte que les bateaux seront plus sensibles à ces fluctuations que les semi-submersibles ou les auto-élévatrices car les fluctuations ont toute chance d'être plus grandes et elles se rapportent à une quantité plus petite.

Les dépenses supplémentaires peuvent résulter également d'accidents survenant à la plate-forme ou de perte de trou se traduisant par des dommages au matériel et des immobilisations dans les cas les plus bénins. Dans les cas plus graves on pourra avoir destruction complète de la plate-forme et des pertes humaines qu'il est alors impossible de chiffrer.

Il est donc difficile d'estimer a priori l'écart possible sur le coût moyen : l'expérience seule peut guider. L'exemple des compagnies d'assurance est instructif à cet égard : les premiers taux d'assurance ne correspondaient manifestement pas aux risques couverts.

On peut essayer de classer les supports selon les risques possibles.

a) Risques de dommage ou de destruction du support.

Le coût de la plate-forme étant couvert par l'assurance ce risque concerne donc les franchises (sauf en cas de destruction totale) et les immobilisations en cas de dommages ou de destruction totale.

On peut classer suivant les risques croissants les bateaux auto-propulsés les barges tractées, les semi-submersibles et les auto-élévatrices. Cette classification correspond en effet à des supports qui sont de moins en moins "marins".

b) Risques de perte du trou.

Il y a perte du trou à la suite d'un accident hors du trou ou dans le trou, en nécessitant l'abandon. Ce risque n'est pas indépendant du précédent. Il peut y avoir perte du trou à la suite de rupture des amarres.

Il semble que le risque sera de moins en moins grand à mesure que le support sera de moins en moins soumis aux incitations extérieures. On a donc une classification inverse à la précédente.

.../...

Les instrumentations, par exemple, seront possibles sur les auto-élévatrices, difficiles sur les semi-submersibles et impossibles sur les bateaux (nécessitant l'abandon du trou).

Il semble que la politique de la plupart des sociétés pétrolières en matière de risque soit de choisir les engins chers mais sûrs étant donné l'expérience très faible dont on dispose.

422 - Importance de la durée et des délais

a) Durée totale

Le tableau fig. (412, I) montre qu'une même opération au Gabon durera 640 à 660 jours avec une auto-élévatrice ou une semi-submersible et 680 à 700 jours avec un bateau. En raison des taux d'utilisation différents on a donc des écarts importants entre les durées totales.

La durée totale, à coût total constant, est un élément de choix beaucoup moins important que la date de mise en disponibilité.

b) Les délais

La durée peut intervenir dans le cas d'opérations liées par les fluctuations qu'elle peut avoir autour de la valeur prévue.

En effet il est important que la date du début des opérations sur place soit respectée car elle peut influer considérablement sur le coût final.

Cette remarque est illustrée par les tableaux fig. (412, V) et (412, VI). Pour une opération de durée théorique 200 jours le GLOMAR V est préférable au SEDCO 135 si les opérations débutent en été et au contraire le SEDCO 135 doit être préféré au GLOMAR V si elles débutent en hiver.

L'importance de la date du début des opérations peut être mise en lumière à l'aide de la notion de "regret" développée en annexe. Pour une opération de durée théorique donnée, pour un support et un lieu donnés, il est clair qu'il existe une date initiale pour laquelle la durée réelle sera minimale. On appèle regret l'écart entre la durée minimale et la durée réelle. Le regret maximum est une fonction de la durée théorique, périodique et symétrique par rapport à la demi-période.

.../...

Un calcul, développé en annexe, montre que pour une opération en Mer du Nord de durée théorique 150 jours le regret maximum est de 45 jours pour un bateau, contre 14 jours pour un semi-submersible. Ce qui montre que le non respect de la date du début des opérations est beaucoup plus grave pour un bateau que pour un semi-submersible.

423 - Etablissement des programmes

Le problème du choix devient plus complexe si l'on considère plusieurs permis qui seraient explorés par un même support.

Considérons d'abord le cas d'un support qui explorerait deux permis simultanément et non l'un après l'autre et prenons l'exemple du GLOMAR V utilisé en Mer du Nord.

Compte tenu du mauvais rendement de ce bateau en hiver, on peut chercher à améliorer son utilisation en l'envoyant pendant l'hiver sur un site A situé à une distance d. Nous supposerons que cette opération a un sens c'est-à-dire que les conditions météo-océanographiques du site A en hiver sont plus clémentes qu'en Mer du Nord et permettent d'assurer un taux d'utilisation de 0,90.

On peut calculer d pour que en 6 mois d'hiver, le forage Mer du Nord d'une part, et l'aller et retour Mer du Nord - site A et le forage site A d'autre part conduisent aux mêmes nombre de jours théoriques de forage. On trouve que le bateau doit naviger pendant 36 jours ce qui correspond à une distance de 3 400 milles. Les dépenses sont alors de 14,3 MF contre 15,9 en Mer du Nord. Une distance de 3 000 milles correspond au trajet Mer du Nord - Golfe du Lion ou Golfe de Gascogne - Mer Adriatique.

Cet exemple permet d'estimer jusqu'à quelle distance deux permis de conditions marines différentes méritent un traitement simultané. Vu la distance faible, à conditions océanographiques très différentes, on conçoit qu'en général une opération sur un permis est faite par un seul engin en une seule fois.

En dehors de l'exploration simultanée de deux permis différents par la même unité on peut envisager l'utilisation consécutive d'un même support sur plusieurs permis. En effet si la durée contractuelle est supérieure à la durée de l'opération, le maître d'oeuvre pourra utiliser le support sur un autre permis ou bien le sous-contracter à un autre maître d'oeuvre quitte à en contracter un autre pour ses autres permis. Il est difficile alors de choisir l'engin le mieux adapté étant donné surtout l'imprécision qui pèse sur les utilisations possibles.

.../...

Dans les sociétés, on fait des programmes à deux ou trois ans, mais ces programmes sont sans cesse remaniés, car les degrés d'urgence varient continuellement. En exploration on ne sait pas grand chose avant le forage lui-même.

Une société peut choisir par exemple d'utiliser un bateau, prévoyant que ses permis nécessiteront des forages dans la gamme des profondeurs 0-100 m et se trouver ultérieurement limitée à des profondeurs beaucoup plus faibles où une auto-élévatrice aurait eu des performances bien meilleures.

Indiquons enfin que la stratégie du maître d'oeuvre influe de façon importante sur le choix des engins et l'élaboration des programmes.

A cet égard, deux stratégies s'opposent : la stratégie de la "chasse à l'éléphant" et la stratégie de la "chasse à la souris".

Dans le premier cas le maître d'oeuvre veut évaluer rapidement des permis situés dans des zones géographiques très différentes où seuls de gros gisements seraient intéressants : son intérêt est alors de choisir un bateau car il a une gamme de possibilités plus large et il se déplace plus vite.

Dans le second cas, le maître d'oeuvre désire explorer systèmatiquement une région déterminée car un gisement même petit y serait intéressant. Il y a alors intérêt à choisir une auto-élévatrice ou une semi-submersible qui ont un rendement en place élevé sur de longues périodes.

On voit donc que le choix d'un engin pour l'exploration dépend donc également des espoirs de développement et de production à long terme que l'on peut avoir.

43 - Evolution des engins de forage en mer

Nous allons examiner sommairement les évolutions possibles des engins et des techniques de forage en mer.

Nous commencerons par analyser le coût opérationnel afin d'estimer les répercussions possibles d'un changement des méthodes actuelles.

Nous verrons ensuite, dans des cas particuliers, si l'on peut chiffrer les gains en performance à partir desquels ces changements sont intéressants.

431 - Décomposition du coût

Notations :

K : coût opérationnel sur place hors tangibles
d : durée théorique de l'opération
c : coût opérationnel journalier sur place hors tangibles
a : partie de c proportionnelle au coût de construction (amortissements + frais financiers + assurance).

b = c - a coût journalier d'exploitation.

..../.

Le tableau ci-dessous donne la décomposition du coût opérationnel en deux parties : l'une proportionnelle au coût de la construction et l'autre correspondant à l'exploitation. Il se rapporte aux supports de référence dont les coûts sont les mieux connus.

	NEP I	IdF	SEDCO 135	P 81	GLOMAR V	G. SIRTE	WODECO V
Coût support (MF)	26	25	40	52	20	45	25
Amortissement sur 5 ans + intérêt à 7 %	17,4	23,4	26,7	34,7	13,4	30	16,7
Assurance	7,0	9,4	10,7	13,9	2,2	4,9	2,7
Coût proportionnel (a)	24	33	37	49	16	35	19
Coût d'exploitation (b)	69	64	65	63	75	61	78
Coût total (c)	93	97	102	112	91	96	97
a/c	0,26	0,34	0,40	0,44	0,18	0,36	0,20
b/c	0,74	0,66	0,60	0,56	0,82	0,64	0,80

Décomposition du coût opérationnel journalier sur place hors tangibles (KF/j)

...

432 - Amélioration des supports

a/ - Par augmentation du volume de stockage. On sait qu'un bateau de ravitaillement coûte de 5 à 6000 F/j ce qui, pour une durée d'amortissement de 5 ans, en admettant une utilisation du support à 80 % de son temps et en prenant un taux d'actualisation de 7 %, représente un investissement de 6 à 7 MF.

Toute amélioration d'une plate-forme, ayant pour effet de supprimer la nécessité d'un bateau de service, est intéressante si le coût de l'investissement supplémentaire n'atteint pas 6 à 7 MF.

b/ - Par amélioration du rendement sur place. On peut estimer le coût marginal d'un supplément d'investissement induisant un accroissement du taux d'utilisation sur place et du coût journalier.

Ce supplément d'investissement sera rentable si

$$\frac{\Delta c}{c} < \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

Deux cas peuvent se présenter: a varie seul, a et b varient simultanément.

Le premier cas correspond, par exemple, à une amélioration des qualités nautiques du support (stabilisateurs inertes etc ....)

Si l'on désire gagner 5 % sur le taux d'utilisation en place, il faut que l'investissement marginal relatif soit inférieur à $0{,}05 \frac{c}{a}$.

A priori les bateaux sont favorisés par rapport aux semi-submersibles, car pour ces dernières le taux d'utilisation est déjà élevé et $\frac{c}{a}$ est faible.

Dans le cas du bateau GLOMAR V, par exemple, un investissement de 6 MF sera rentable s'il en résulte un gain relatif de taux d'utilisation supérieur à 5 %.

Dans le deuxième cas il y a à la fois augmentation du coût de construction et du coût d'exploitation. Ce cas correspond par exemple à l'utilisation d'une nouvelle technique d'ancrage ou de forage.

Voyons par exemple s'il est rentable d'utiliser à bord d'une unité type GLOMAR SIRTE la technique du positionnement dynamique.

D'après une publication citée (référence (4)) il sera nécessaire d'installer à bord 15 000 à 20 000 ch propulsifs. En faisant appel aux techniques diésel électriques et à des hélices à pas variable l'investissement sera de l'ordre de 8 à 9 MF. On fera par ailleurs l'économie d'investissement estimée à 6 MF du système d'ancrage conventionnel. Par ailleurs des dépenses supplémentaires d'exploitation sont estimées à 3 KF/j. Ce calcul montre alors que le posi-

...

tionnement dynamique devient rentable si le gain relatif en taux d'utilisation est supérieur à 6 % environ. Ce gain relatif sera obtenu par une diminution des préparatifs de mise en place ou de départ pénalisant moins les immobilisations, par un accroissement des conditions météo-océanographiques limites puisqu'on sera libre de choisir en cap préférentiel etc ....

c/ - Autres améliorations.

En dehors des améliorations du rendement sur place, il peut être intéressant de chercher à améliorer le rendement global. On pourra chercher, par exemple, à améliorer les possibilités de transport des plates-formes auto-élévatrices ou semi-submersibles.

Il serait utile, par exemple, de savoir s'il est plus intéressant d'essayer d'améliorer les possibilités des supports qui ont un bon rendement en place ou, au contraire, d'essayer d'améliorer le rendement en place des supports qui se déplacent facilement.

Toutes ces questions restent posées.

=-=-=-=-=-=-=-=-=-

- CONCLUSIONS -

Divers aspects de la recherche du pétrole en mer ont été abordés dans cette étude.

Après avoir décrit aussi exactement que possible les dépenses à la charge de l'entrepreneur et du maître d'oeuvre, on a mis l'accent sur la difficulté des choix dans un domaine où les prévisions sont difficiles et l'expérience encore mince.

Un certain nombre d'extrapolations ont été faites à partir des renseignements fournis : elles demandent à être confrontées avec la réalité.

Ce qui fait la difficulté de la recherche du pétrole en mer est qu'il faut sans cesse imaginer des conceptions nouvelles pour résoudre des problèmes nouveaux, sans pour autant se lancer dans l'inconnu : il ne faut pas se laisser aller à l'habitude mais néanmoins s'appuyer sur l'expérience.

C'est pourquoi il paraît utile de poursuivre les efforts déjà entrepris en ce qui concerne la théorie et la pratique:

1/ - Poursuivre les recherches concernant l'action du milieu sur le support et les prévisions; mieux connaître les grandeurs les plus probables et les fluctuations possibles,

2/ - Tirer tout le parti possible des expériences réalisées et s'efforcer de rassembler les données concernant les coûts réels et l'utilisation des temps.

ANNEXE

LA NOTION DE REGRET

Nous nous plaçons sur un permis donné pour y conduire une opération de durée théorique λ donnée.

Pour chaque type de support, on peut définir une courbe qui donne le taux d'utilisation λ prévisible en fonction de l'époque considérée.

Pour simplifier on peut supposer que le taux d'utilisation est constant pendant la durée d'un trimestre. C'est ce qui a été fait aux fig. (A,I) et A,III) où l'on a tracé le taux d'utilisation d'un bateau puis d'une semi-submersible en Mer du Nord. (On a supposé que l'année avait 360 jours).

Si les opérations débutent à la date t_o, la durée réelle prévisible sera $T(t_o, d)$ fonction de t_o et d durée théorique définie par la condition implicite :

$$\int_t^{t_o + T} \lambda(t)\, dt = d$$

Pour une durée théorique d donnée il existe une époque t_1 où T est minimum et vaut $T_{min}(d)$.

On appelle regret la différence entre T et T_{min}.

$T(t_o, d)$ est maximum pour une époque t_2 et vaut $T_{max}(d)$. Il est facile de voir que :

$$T_{max}(d) = d_o - T_{min}(d_o - d)$$

d_o étant défini par :

$$\int_{t_o}^{t_o + 360} \lambda\, dt = d_o$$

Le regret maximum r est donc une fonction de d définie comme suit :

$$r(d) = T_{max}(d) - T_{min}(d)$$

$r(d)$ est une fonction périodique de période d_o, symétrique par rapport à la demi-période.

Les fig. (A,I);(A,II); (A,III) donnent les fonctions $T_{min}(d)$; $T_{max}(d)$; $r(d)$; $t_1(T)$ pour un bateau et une semi-submersible en Mer du Nord.

On remarque que t_1 ne se trouve jamais dans l'intervalle (90, 180) :

...

on n'a jamais intérêt à débuter les opérations pendant le 3ème trimestre. (L'époque t = 0 est le début du deuxième trimestre).

Le regret est un critérium de ce qu'il en coûtera si l'on ne choisit pas au mieux la date de démarrage des opérations. Le regret maximum est ce qu'il en coûtera au pire . Le regret maximum caractérise la plus ou moins grande souplesse d'utilisation d'un engin en un lieu déterminé eu égard aux délais.

Le bateau est donc beaucoup moins souple qu'un semi-submersible comme il apparaît à la fig. (A,III).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) MAINGUY (M) : "Les recherches de pétrole sous les mers", Informations géographiques, janvier-février 1967

(2) "Techniques marines pour la recherche et l'exploration du pétrole", Editions TECHNIP 1967.

(3) "The seaway environment", Ocean proceeding supplements 1967.

(4) BONNAFOUS (G) et TEYSSIER (J) : "Comparaison entre les procédés d'ancrage conventionnel et dynamique appliqués aux supports de forage en mer", A.T.M.A., 1967.

(5) DUFOND (R) : "Evaluation économique et rentabilité en offshore ", Document B.C.E.M., février 1968.

(6) "Le parc des engins de forage en mer", Ocean Industry , mars 1968.

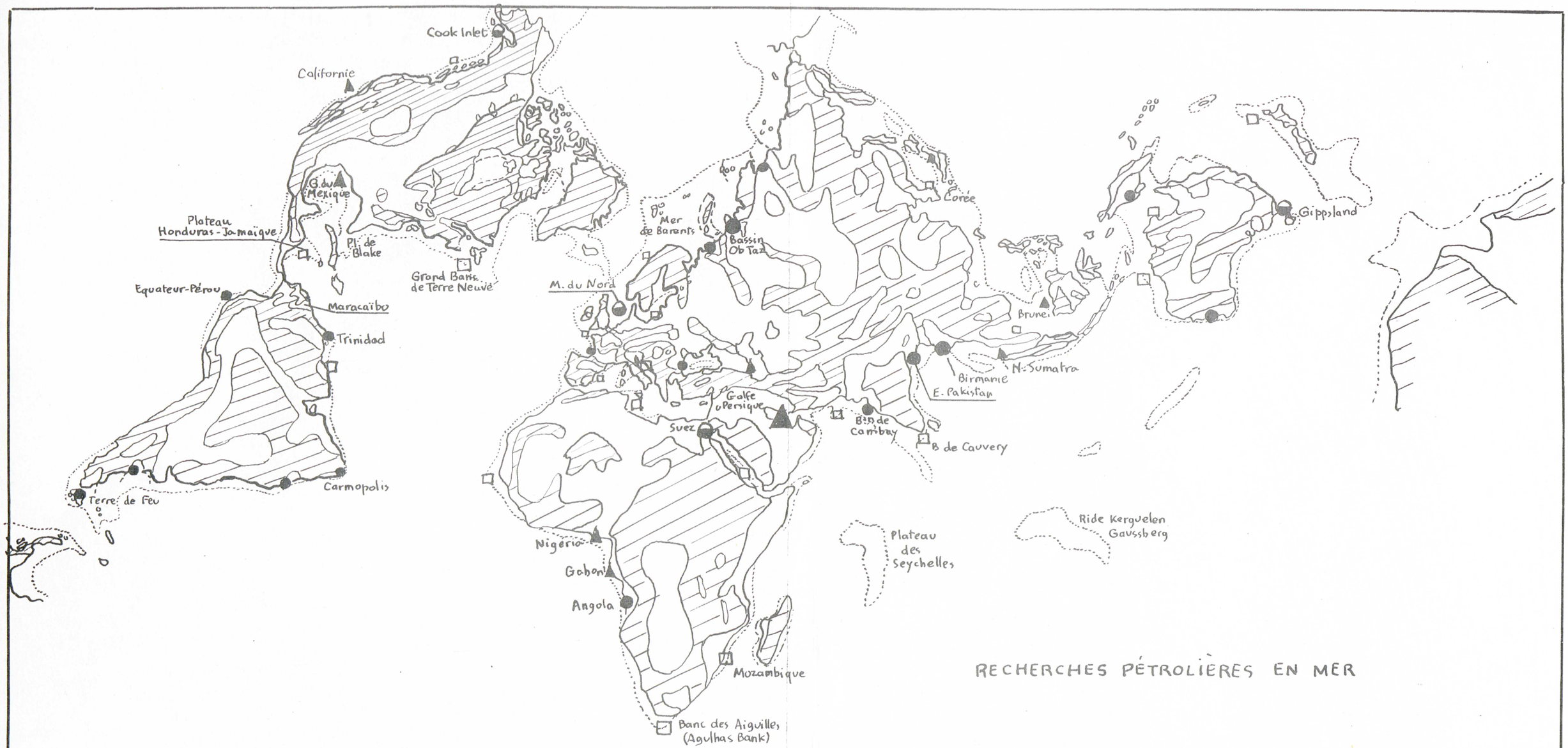
(7) HOWE (R) : "Evolution of offshore mobile drilling units", OFFSHORE mars 1966.

(8) WATHNE (E) : "Prix de revient du forage et de la production en mer". Document I.F.P. avril 1967.
de BOUSINGEN

(9) DURAND (J) : "Point des enseignements retirés par T.O.M. de deux années d'opérations offshore en Mer du Nord", revue A.F.T.P. septembre 1967.

(10) S.E.R.E.T.E. : "Rapport d'étude sur les engins de forage en mer, document I.F.P. mai 1968.

PLANCHES ET FIGURES



RECHERCHES PÉTROLIÈRES EN MER

..... Enveloppe des zones de recherche possibles en mer. (Cette courbe ne correspond pas en tout point à la courbe -200 m)

Zones défavorables. (Massifs cristallins, chaines de montagne engéosynclinales, zones de coulées basaltiques puissantes.)

▲ Bassins productifs sur terre et sur mer ou

● susceptible d'une extension en mer

◓ Zone ayant abouti à des résultats plus intéressants sur mer qu'à terre.

□ Bassins nouveau en mer, à l'étude

(Source référence (1))

Figure (02, I)

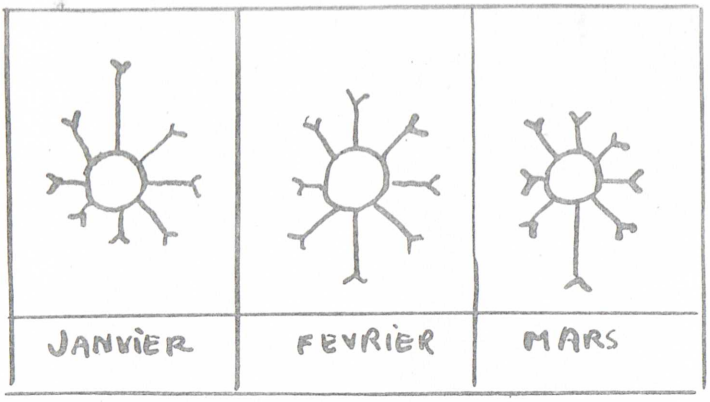


Figure (111, I) : Régime des vents

Figure (111, II) :
Statistiques annuelles
Vitesse du vent
(source référence (3))

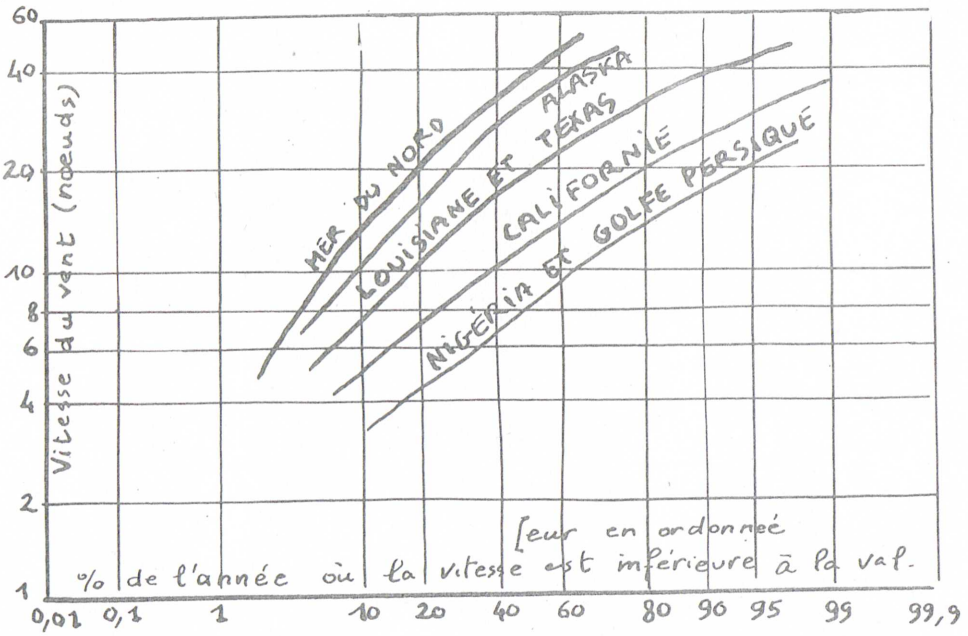
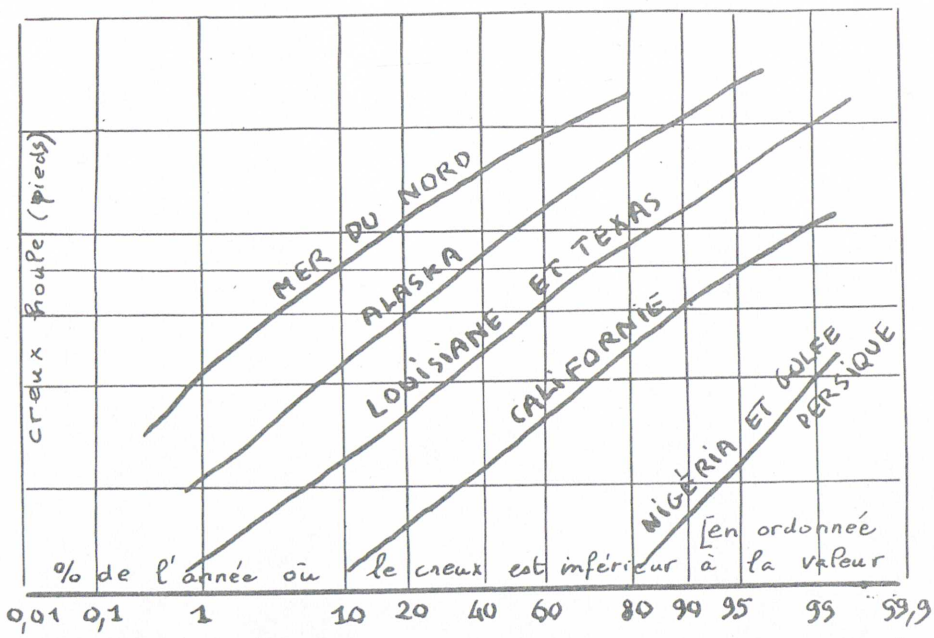


Figure (113, I) :
Statistiques annuelles de houles
(source référence (3))



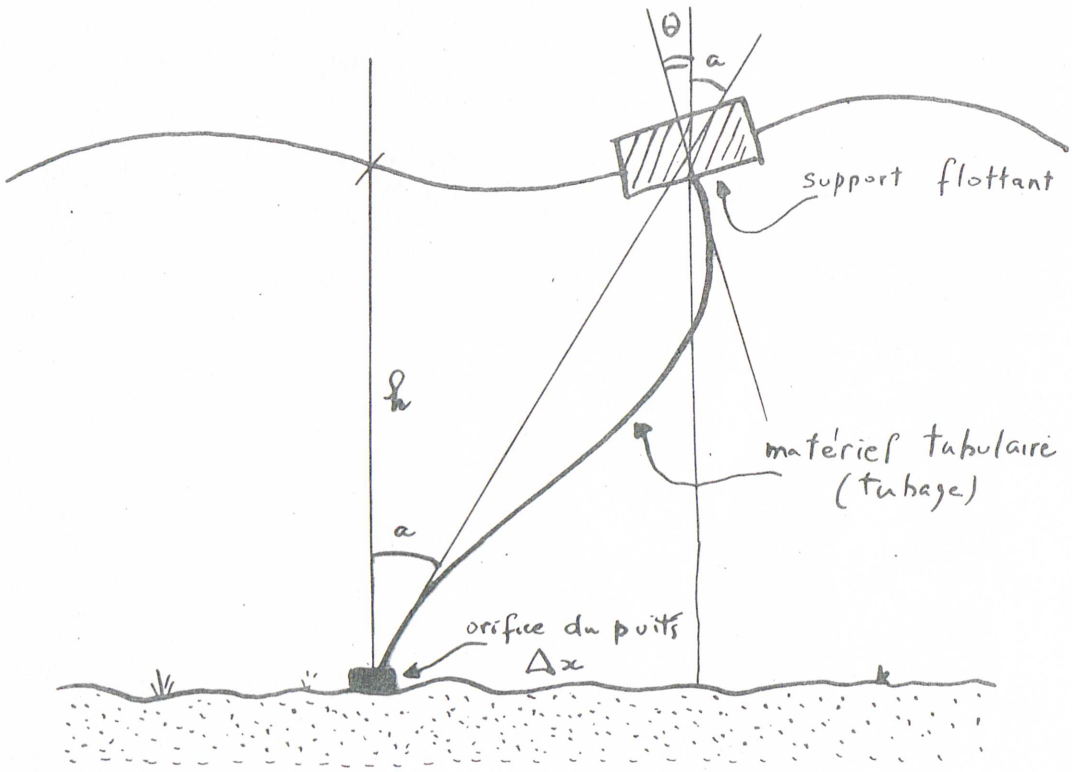


Figure (12,I) : Définition des angles a et θ.

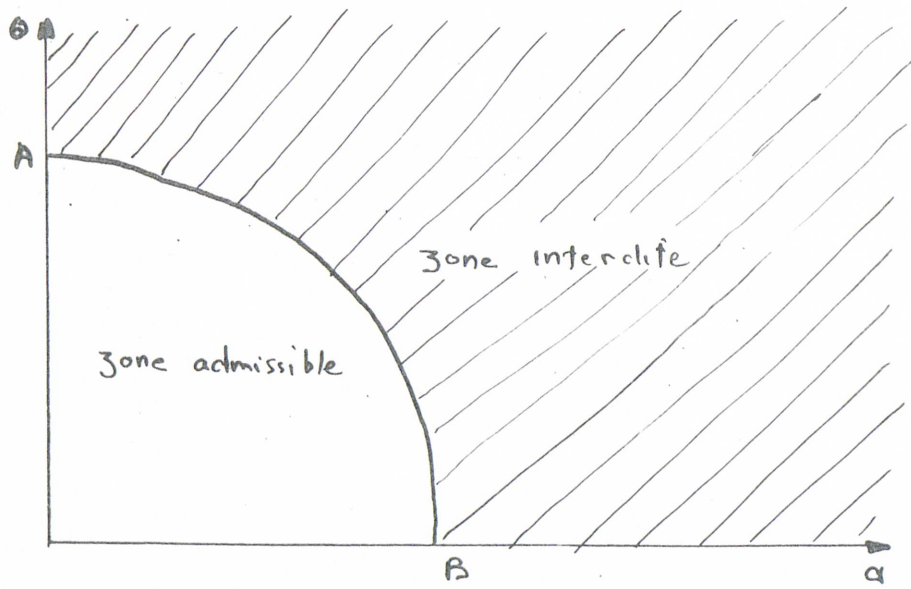


Figure (12,II) : Courbe limite a, θ.

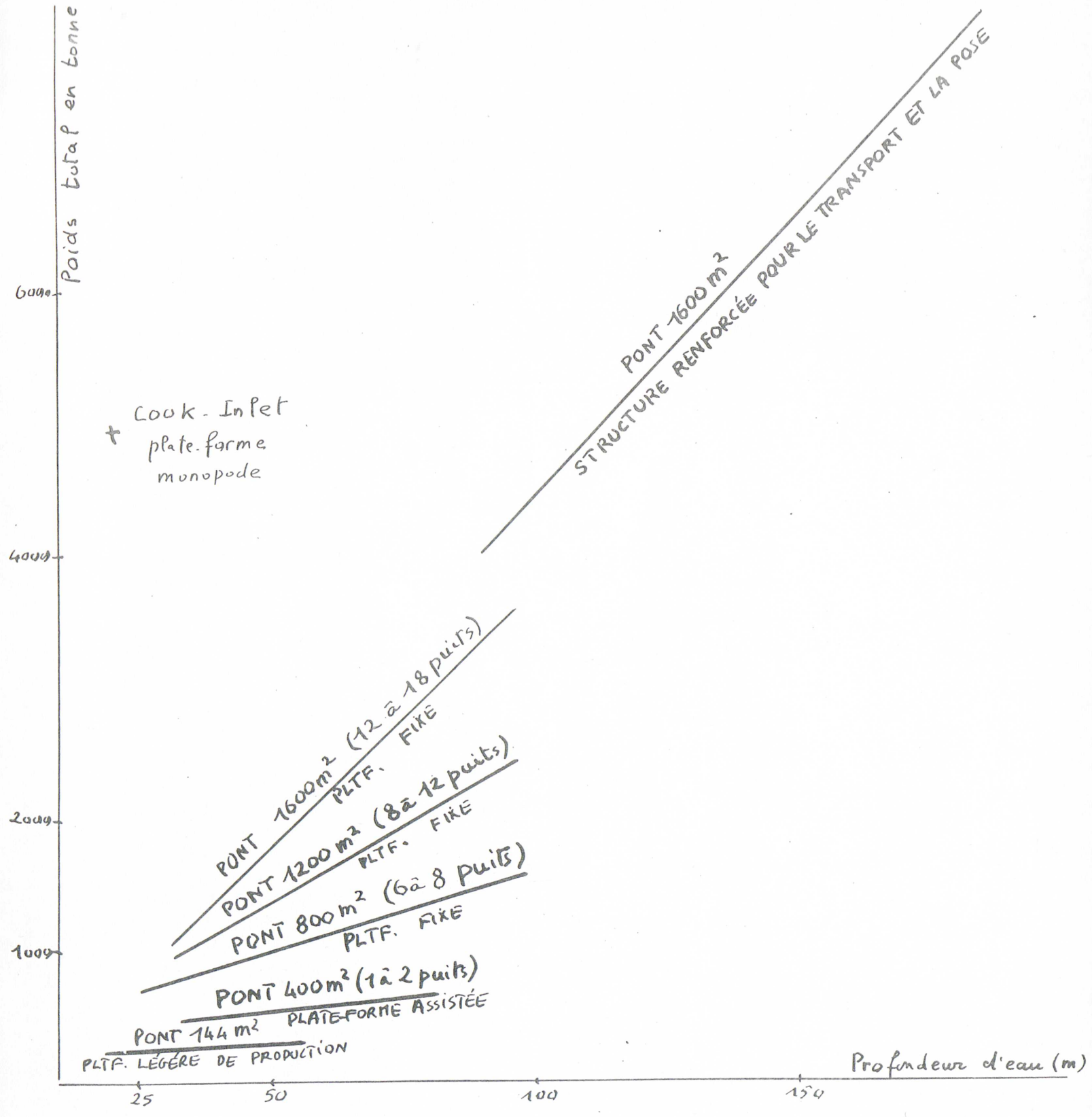


Figure (131, I) : Poids des plates-formes fixes de développement.
(Source référence (5))

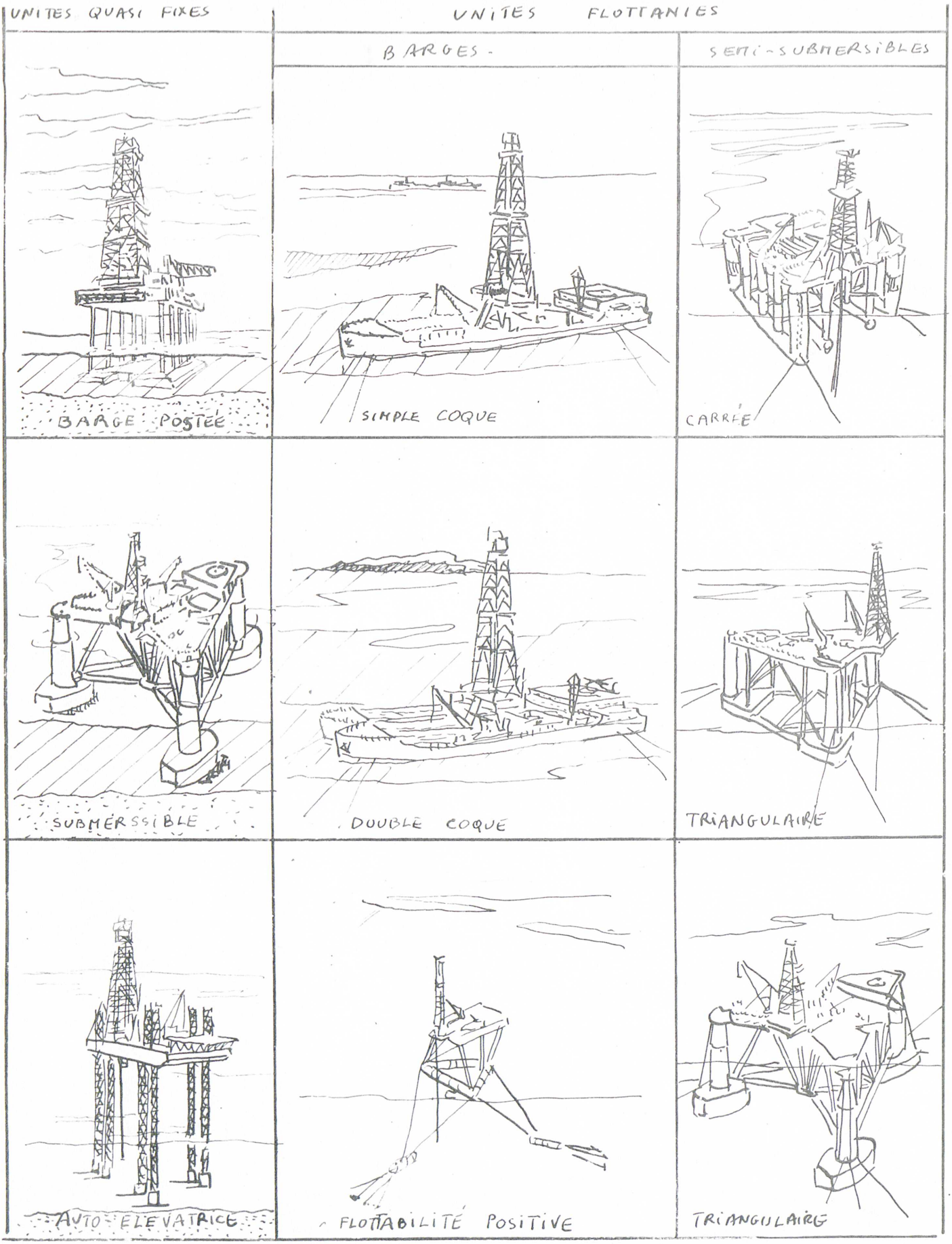


Figure (13.1, II) : Plates-formes mobiles de forage en mer

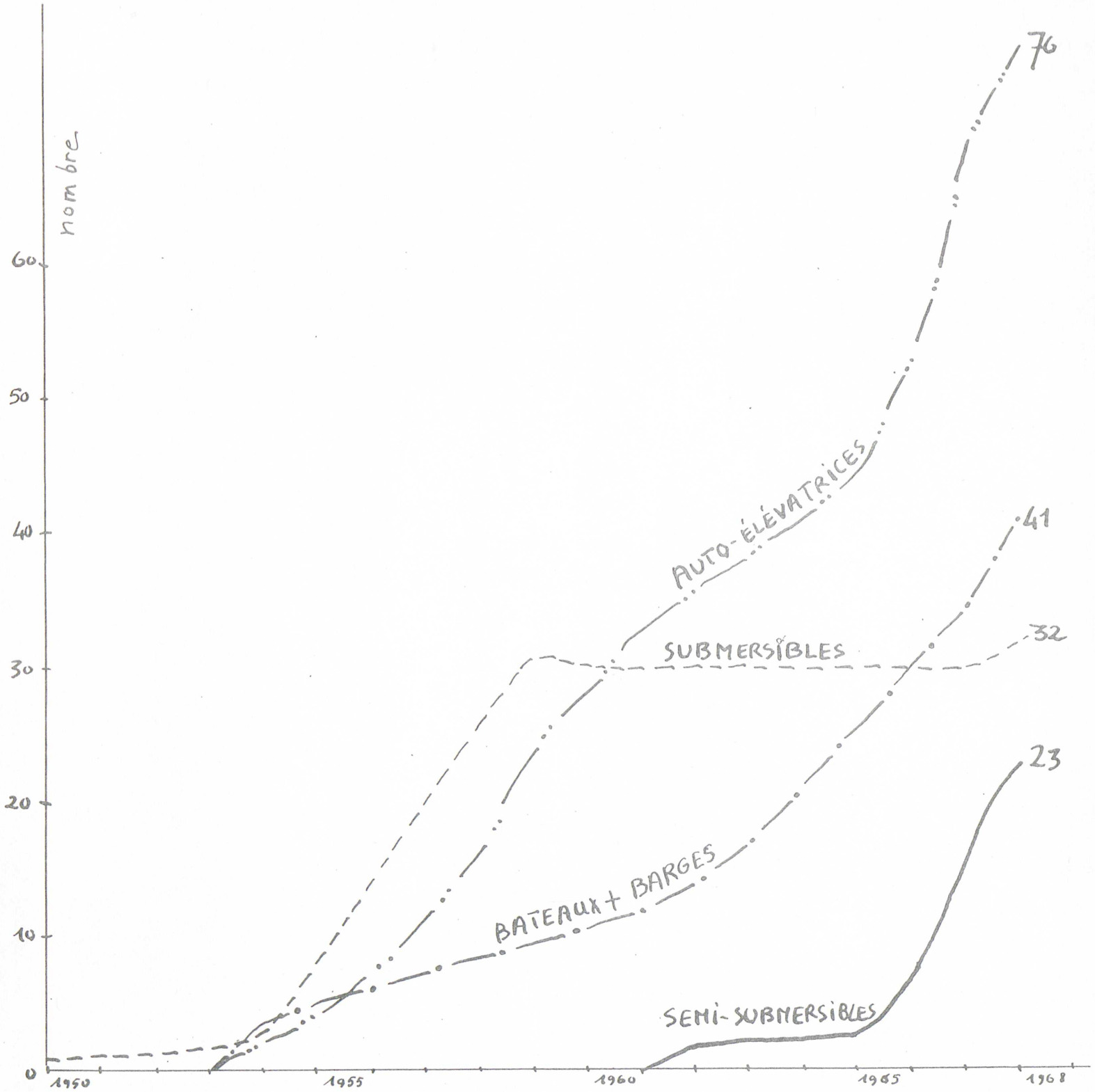


Figure (212,I): Evolution de la "flotte" des engins mobiles de forage

(Source référence (5))

FIGURE (213, I) SITUATION GEOGRAPHIQUE DE 120 UNITES MOBILES AU 1er MARS 1968 (SOURCE REFERENCE (6))

		SUBMERSIBLES & BARGES POSTES	AUTO-ELEVATRICES	SEMI-SUBMERSIBLES	BATEAUX	TOTAL
AMERIQUE						
	ALASKA (COOK INLET)	1	1			2
	BRESIL		1			11
	CALIFORNIE		1	1	7	9
	CANADA (Côte Ouest)			1		1
	GOLFE DU MEXIQUE	31	23	4		58
	TEXAS		1		2	3
EUROPE						
	MER DU NORD		9	3	1	13
	GOLFE DE GASCOGNE		1			1
	MER ADRIATIQUE		2			2
	ESPAGNE			1		1
AFRIQUE						
	ANGOLA			2	1	3
	CAMEROUN			1	1	2
	DAHOMEY		1			1
	EGYPTE		1			1
	GABON		1	1		2
	LIBYE				1	1
	NIGERIA	1	1			2
	SENEGAL		1		1	2
MOYEN-ORIENT						
	GOLFE PERSIQUE		3	2	3	8
AUSTRALIE & OCEANIE						
	AUSTRALIE				4	4
	BORNEO			2		2
	NOUVELLE GUINEE				1	1
		33	47	18	22	120

...

FIGURE (214,1) LES ENTREPRENEURS DE FORAGE EN MER EN MARS 1966 (SOURCE REFERENCE (7))

		A	S	SS	BATEAU	BARGE	TOTAL
1	OFFSHORE COMPANY	16	1			1	18
2	GLOBAL MARINE	1			3	9	13
3	OCEAN DRILLING AND EXPL. Co (ODECO)		6	6			12
4	KEER MAC GEE	1	6	1			8
5	PENROD DRILLING Co	5	2				7
6	WESTERN OFFSHORE DRILLING Co (WODECO)				5		5
6	SOUTHEASTERN DRILLING Co (SEDCO)		1	4			5
8	READING AND BATES	3				1	4
8	STORM DRILLING Co	4					4
8	ZAPATA OFFSHORE	4					4
11	ROYAL DUTCH SHELL	2		1			3
11	UNDERWATER GAS DEVELOPPER	3					3
11	CREOLE PETROLEUM Co				3		3
11	PLACE GAS AND OIL	3					3
15	BLUE WATER DRILLING Corp.			2			2
15	SNAM SAIPEM	2					2
15	LOFFLAND BROS Co	2					2
15	ARABIAN AMERICAN OIL Co	2					2
15	CHEVRON		2				2
15	COMPANIA PERFORANDORA					2	2
15	CORAL DRILLING Co	1	1				2
15	DIXILYN CORPORATION	2					2
15	LOUISIANA DELTA OFFSHORE Co		2				2
15	MARLAN DRILLING Co	2					2
15	MOVIBLE OFFSHORE Inc.		2				2
15	RIMROCK TIDELAND Inc.		2				2
15	SEACAT ZAPATA				2		2
15	SEA DRILLING Corp.		2				2
15	SOCIETE DE FORAGE NEPTUNE	2					2
15	TRANSOCEAN DRILLING Co	2					2
31	FORAMER	1					1
64	DIVERS (au moins 1 unité)	10	1		11		22
	TOTAUX	68	28		51		147

...

FIGURE (323 , 1) ESTIMATION DES BENEFICES RAPPORTES PAR UNE UNITE DE FORAGE EN MER PENDANT LES 5 PREMIERES ANNEES DE SON UTILISATION (VALEUR D'ACHAT 40 MF DONT 30 MF EMPRUNTES) (SOURCE REFERENCE (8))

Moyenne F/j	Année	1 MF/an	2	3	4	5	TOTAL MF
50.000	Revenu	18,250	18,250	18,250	18,250	18,250	91,25
	A déduire :						
10.000	Personnel	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	18,25
7.000	Entretien	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	12,80
4.000	Frais généraux	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	7,30
3.700	Frais financiers (7 %)	3,10	1,74	1,34	0,93	0,48	6,59
21.500	Amortissement	25,00	4,50	3,80	3,25	2,76	39,31
46.200	Total	34,77	13,91	12,81	11,85	10,91	84,25
3.800	Revenu brut	(16,52)	4,34	5,44	6,40	7,34	7,00
1.900	Impôt sur le revenu	-	-	-	-	3,50	3,50
1.900	Revenu net	(16,52)	4,34	5,44	6,40	3,84	3,50
21.500	+ amortissement	25,00	4,50	3,80	3,25	2,76	39,31
23.400	Cash flow	8,48	8,84	9,24	9,65	6,60	42,81
16.400	- paiement principal	5,22	5,58	5,97	6,39	6,84	30,00
	Recette						
7.000	Recettes en espèces	3,26	3,26	3,27	3,26	(0,24)	12,81
	Echelle des dettes	30,00	24,783	19,201	13,228	6,837	
16.400	Paiement principal	5,217	5,582	5,973	6,391	6,837	30,000
3.700	Intérêt à 7 %	2,100	1,735	1,344	0,926	0,480	6,585
20.100	Paiement total	7,317	7,317	7,317	7,317	7,317	36,585

...

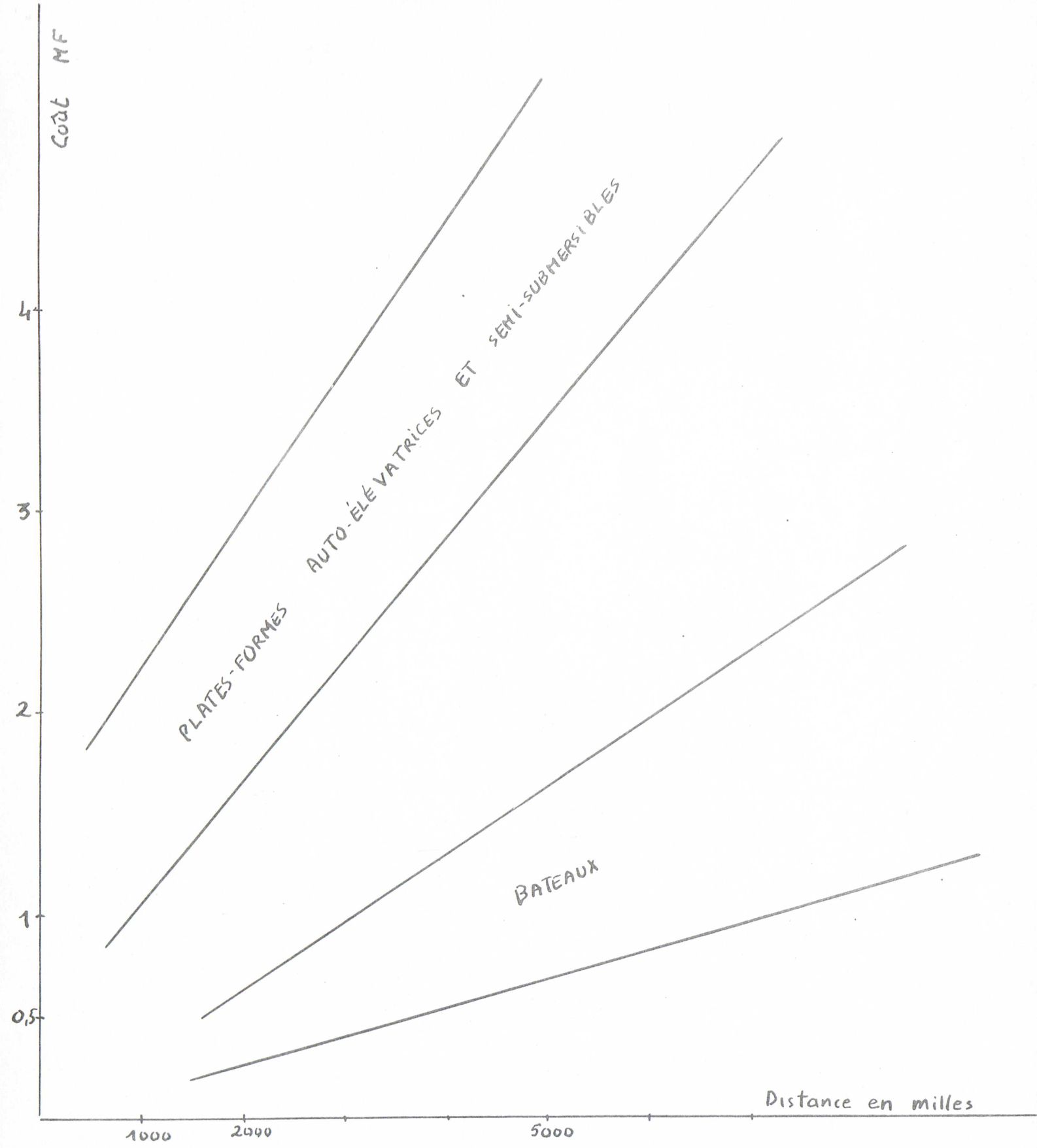


Figure (342, I) : Amenée - repli ; Corrélation coût / distance

FIGURE (353 , 1) COUT DES TRANSPORTS DE TOM EN MER DU NORD SUR 4 FORAGES SUCCESSIFS

(SOURCE REFERENCE (9))

Durée du forage (j)	86	17	83	97
Distance au port (km)	225	64	64	124-320
Bateaux de service permanents type LADY DIANA				
Nombre utilisé	2	2	2	$1^{1/2}$
Jours payés	190	50	156	120
Journées en mer	151	42	116	84
Coefficient d'utilisation	79 %	85 %	75 %	70 %
Mouvements	106	31	144	46
Tonnage transporté	3.000	1.000	2.100	2.000
Coût total (F)	1.300.000	280.000	940.000	700.000
Coût journalier (F/j)	15.100	16.500	11.300	7.200
Bateaux de service occasionnels				
Nombre utilisé			1	5
Journées payées			12	25
Mouvements			2	14
Tonnage transporté	Néant	Néant	100	300
Coût total (F)			39.000	104.000
Coût journalier (F/j)			470	1.070
Bateaux de relève				
Journées payées	42			
Journées en mer	10			
Coefficient d'utilisation	24 %	Néant	Néant	Néant
Mouvements	15			
Coût total (F)	155.000			
Coût journalier (F/j)	1.800			
Bateaux de "Stand by"				
Journée payées			"Stand by"	90
Coût total	Néant	Néant	par	122.000
Coût journalier			bateau de relève	1.260
Hélicoptère SYKORSKY S 61				
Nombre de vols	21	11	21	26
Passagers transportés	588	308	620	416
Heures de vol	75	20	51	43
Coût total(F)	155.000	53.000	240.000	182.000
Coût journalier(F/j)	1.800	3.100	2.900	1.880
TOTAL				
Coût (F)	1.610.000	333.000	1.219.000	1.108.000
Coût journalier (F/j)	18.700	19.600	14.700	11.000

...

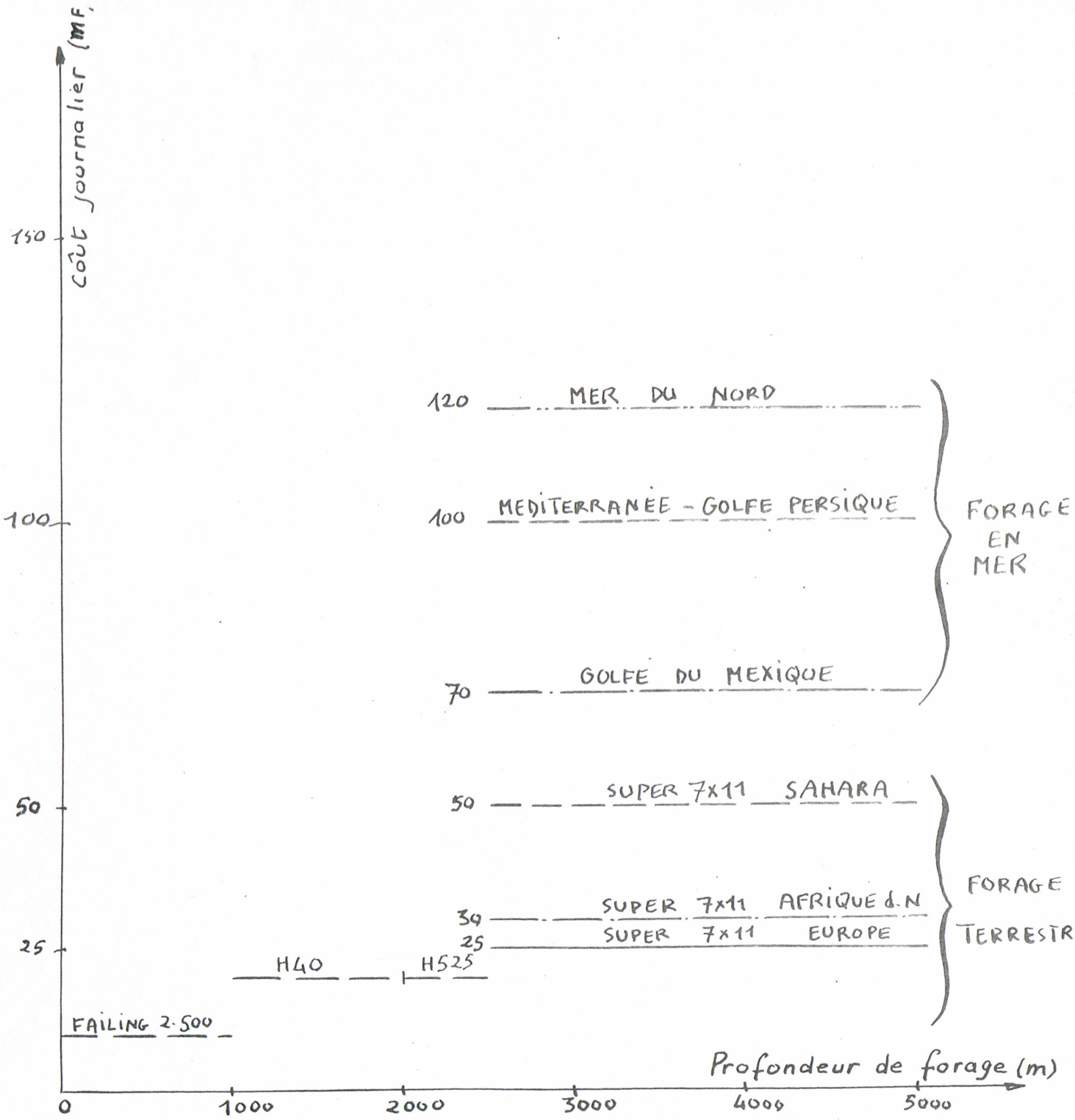


Figure (381, II) : Coût opérationnel d'une journée de forage d'exploration (source référence [5])

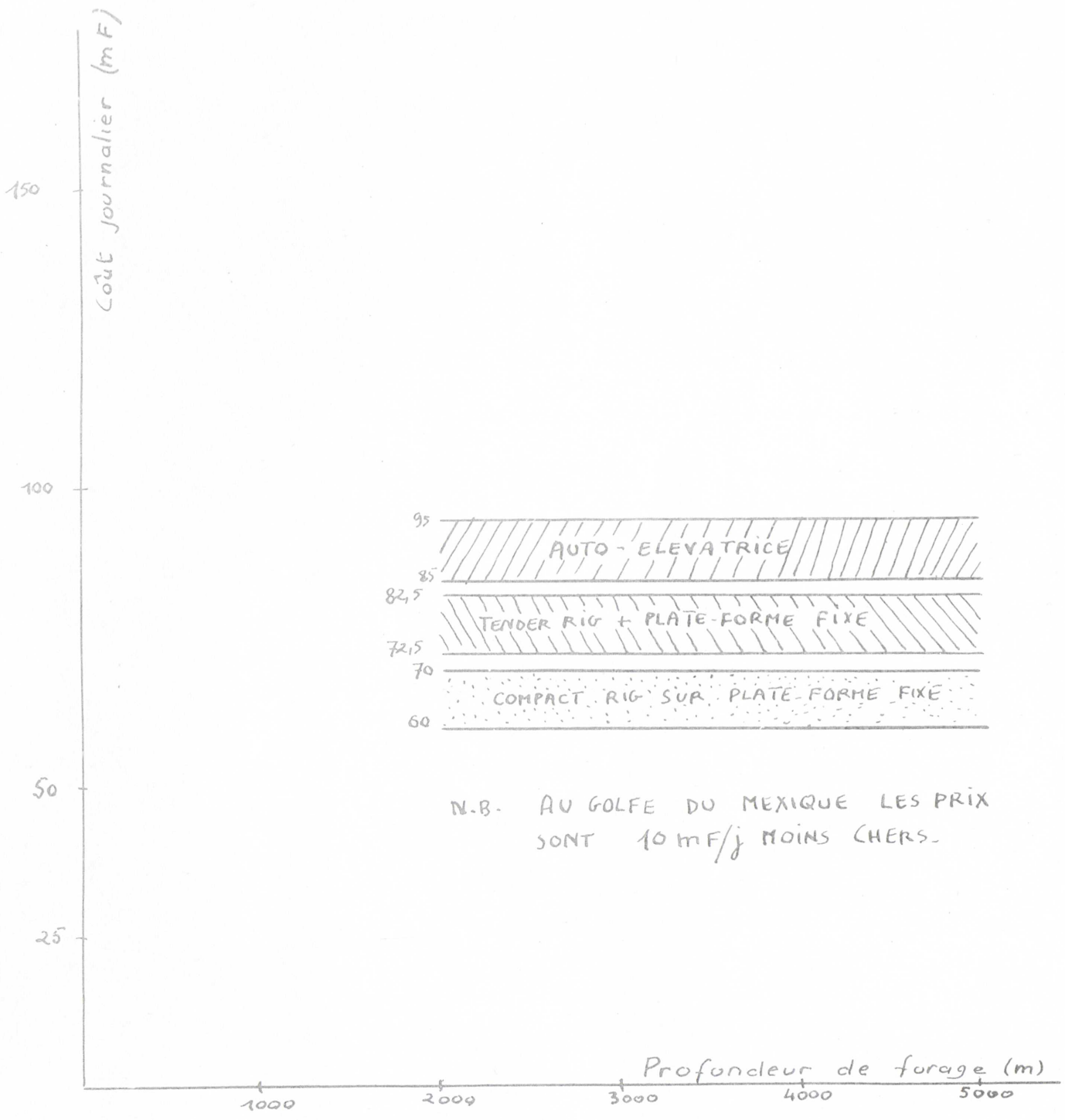


Figure (382,I) : Coût opérationnel d'une journée de developpement. (source référence (5))

[Le coût des plates-formes n'est pas compté]

FIGURE (412,1) DETERMINATION DES COUTS ET DUREE SUR PLACE POUR UNE OPERATION AU GABON

15 PUITS A 2.000 METRES A 50 M/J

(COUT HORSTANGIBLES)

TYPE	AUTO ELEVATION		SEMI-SUBMERSIBLES		BATEAUX AUTO-PROPULSES				BARGE
SOUS TYPE	NEP 1	IdF	SEDCO 135	P 81	GLOMAR 1 à V	GLOMAR SIRTE	BATEAU 30.000 t	CATAMARAN E.M. THORN.	NODECO V
Déménagement									
Vitesse (noeud)	3	3	4	4	7,8	10	10	11,5	6
Coût fixe (MF)	0,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0
Coût par mille	0,63	0,73	0,55	0,63	0,21	0,19	0,19	0,30	0,16
Temps nécessaire pour faire 1 nautique (jour)	13,9	13,9	10,4	10,4	5,4	4,2	4,2	3,6	6,9
Taux d'utilisation sur place	0,98	0,98	0,95	0,95	0,89	0,89	0,90	0,92	0,89
Taux d'immobilisation	0,02	0,02	0,052	0,052	0,124	0,124	0,121	0,087	0,124
Durée forage	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Durée immobilisation	12	12	31	31	74	74	67	52	74
Durée transferts sur place et mise en station	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Durée intervention (j) sur place	642	642	661	661	704	704	697	682	704
Coût journalier forage (KF/j)	93	97	102	112	91	96	96	99	97
Coût journalier immobilisation	83	87	92	102	81	86	86	89	87
Coût journalier mise en station et transfert	88	92	97	107	86	91	91	94	92
Coût total forage (MF)	55,800	58,200	61,200	67,200	54,600	57,600	57,600	59,400	58,200
Coût total immobilisation	0,996	1,044	2,850	3,162	5,994	6,364	5,762	4,628	6,438
Coût total transferts	2,640	2,760	2,910	3,210	2,580	2,730	2,730	2,820	2,760
Coût total (MF)	59,436	62,004	66,960	73,572	63,174	66,694	66,092	66,848	67,398
Durée (jours)	642	642	661	661	704	704	697	682	704
Coût (MF) (hors tangible)	59,4	62,0	67,0	73,6	63,2	66,7	66,1	66,8	67,4

...

FIGURE(412,11) OPERATIONS EN MER DU NORD

COUT D'UNE INTERVENTION DE 180 j EN ETE (HORS TANGIBLES)

(LES OPERATIONS DE TRANSFERTS NE SONT PAS PRISES EN COMPTE)

TYPE	AUTO-ELEVATRICES		SEMI-SUBMERSIBLES		BATEAUX AUTO-PROPULSES				BARGE
SOUS TYPE	NEP 1	I F	SEDCO 135	P 81	GLOMAR I à V	GLOMAR SIRTE	BATEAUX 30.000 T	CATAMARAN E.M.THORN.	WODECO V
Déménagement									
Vitesse (noeud)	3	3	4	4	7,8	10	10	11,5	6
Coût fixe	0,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0
Coût par mille	0,69	0,73	0,55	0,63	0,21	0,19	0,19	0,30	0,16
Temps nécessaire pour faire 1 nautique (jour)	13,9	13,9	10,4	10,4	5,4	4,2	4,2	3,6	6,9
taux d'utilisation	0,99	0,99	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95	0,96	0,95
taux d'immobilisation	0,01	0,01	0,02	0,02	0,053	0,053	0,053	0,042	0,042
Durée forage	178	178	176	176	171	171	171	173	171
Durée immobilisation	2	2	4	4	9	9	9	7	9
Durée transfert et mise en place	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Durée intervention sur place (j)	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Coût journalier forage	93	97	102	112	91	96	96	99	97
Coût journalier immobilisation	83	87	92	102	81	86	86	89	87
Coût journalier transfert	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coût forage (MF)	16,554	17,266	17,952	19,712	15,561	16,416	16,416	17,127	16,587
Coût immobilisation	0,166	0,174	0,368	0,404	0,729	0,774	0,774	0,623	0,783
Coût transfert	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coût total	16,720	17,440	18,320	20,116	16,290	17,190	17,190	17,750	17,370
Durée (j)	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Coût (MF)	16,7	17,4	18,3	20,1	16,3	17,2	17,2	17,8	17,4

...

FIGURE (412,111) OPERATIONS EN MER DU NORD

COUT D'UNE INTERVENTION DE 180 j EN HIVER (HORS TANGIBLES)

(LES OPERATIONS DE TRANSFERTS NE SONT PAS PRISES EN COMPTE)

TYPE	AUTO-ELEVATRICES		SEMI-SUBMERSIBLES		BATEAUX AUTO-PROPULSES				BARGE
SOUS TYPE	NEP 1	IdF	SEDCO 135	P 81	GLOMAR I à V	GLOMAR SIRTE	BATEAUX 30.000 T	CATAMARAN THORN.	WODECO V
Déménagement									
Vitesse (noeuds)	3	3	4	4	7,8	10	10	11,5	6
Coût fixe (MF)	0,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0
Coût par mille (KF)	0,69	0,73	0,55	0,63	0,21	0,19	0,19	0,30	0,16
temps nécessaire pour faire 1 nautique (j)	13,9	13,9	10,4	10,4	5,4	4,2	4,2	3,6	6,9
Taux d'utilisation	0,97	0,97	0,90	0,90	0,72	0,72	0,72	0,80	0,72
Taux d'immobilisation	0,031	0,031	0,11	0,11	0,39	0,39	0,39	0,25	0,39
Durée forage	175	175	162	162	130	130	130	144	130
Durée immobilisation	5	5	18	18	50	50	50	36	50
Durée transfert	–	–	–	–	–	–	–		–
Durée intervention sur place (j)	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Coût journalier forage (KF)	93	97	102	112	91	96	96	99	97
Coût journalier immobisation	83	87	92	102	81	86	86	89	87
Coût journalier transfert	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Coût forage (MF)	16,275	16,975	16,524	18,144	11,830	12,48	12,48	14,256	12,61
Coût immobilisation	0,415	0,435	1,656	1,836	4,050	4,30	4,30	3,204	4,35
Coût transfert	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Coût total (MF)	16,690	17,410	18,180	19,980	15,880	16,78	16,78	17,460	16,96
Durée (j)	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Coût (MF)	16,7	17,4	18,2	20,0	15,9	16,8	16,8	17,5	17,0

...

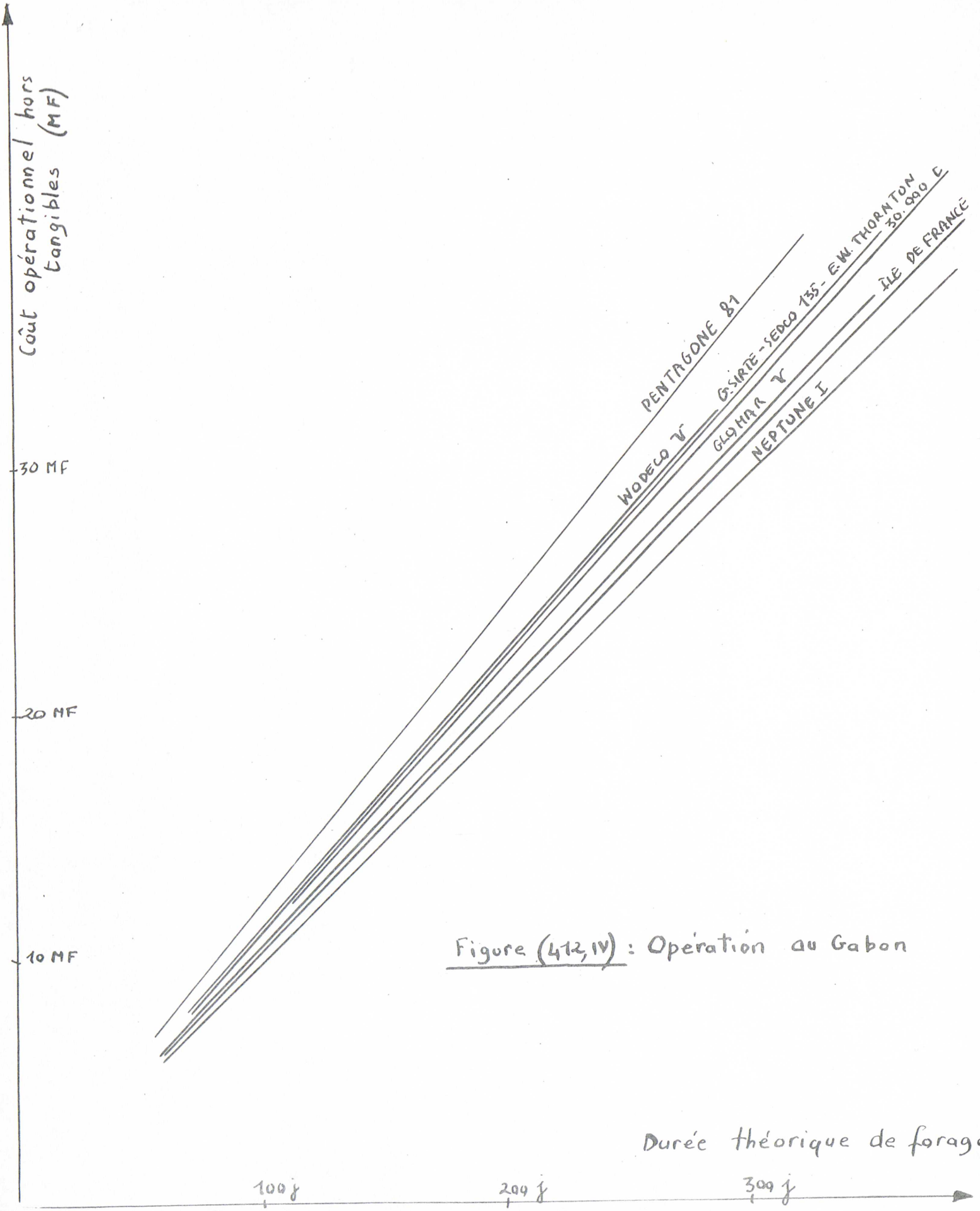


Figure (412, IV) : Opération au Gabon

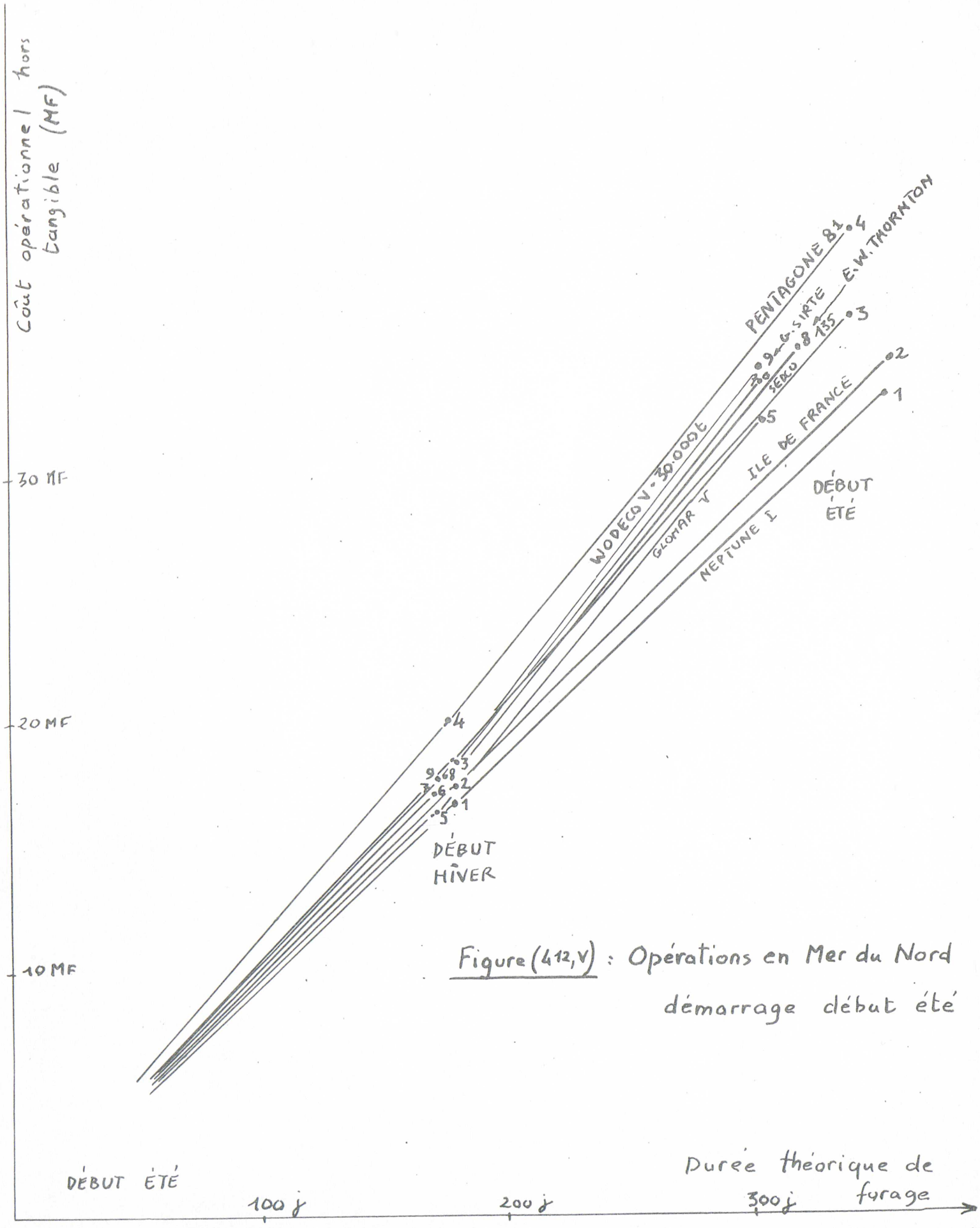


Figure (412,V) : Opérations en Mer du Nord

démarrage début été

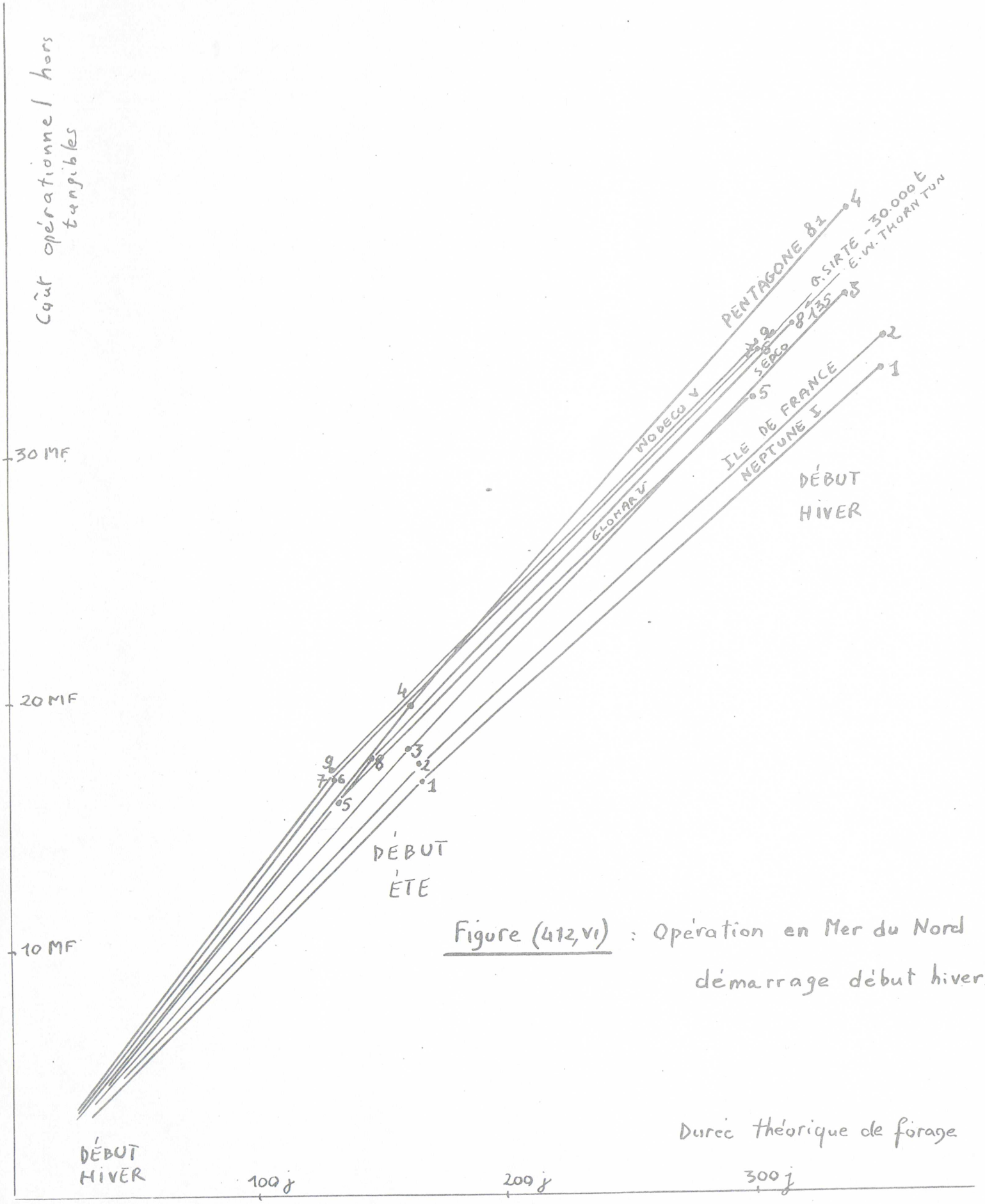
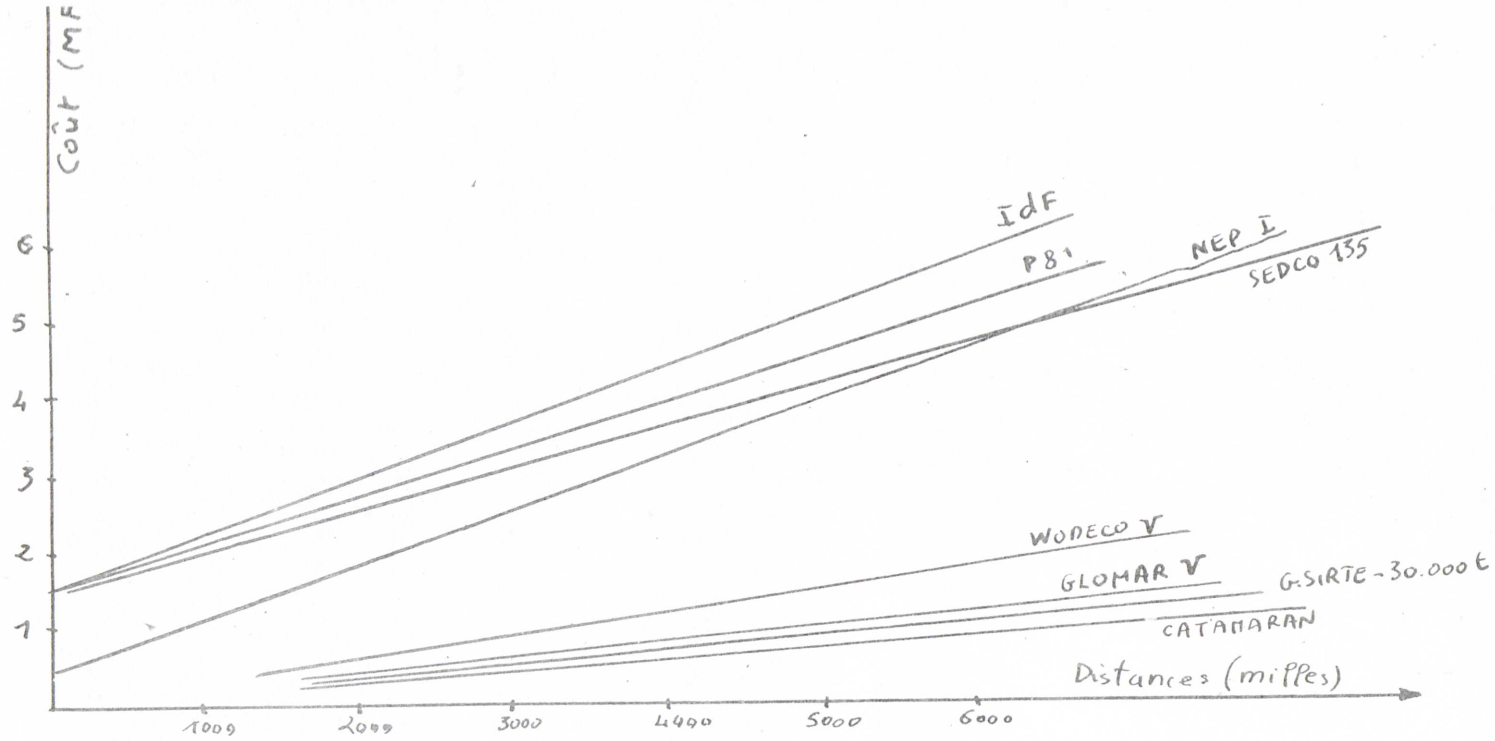


Figure (412, VI) : Opération en Mer du Nord
démarrage début hiver.



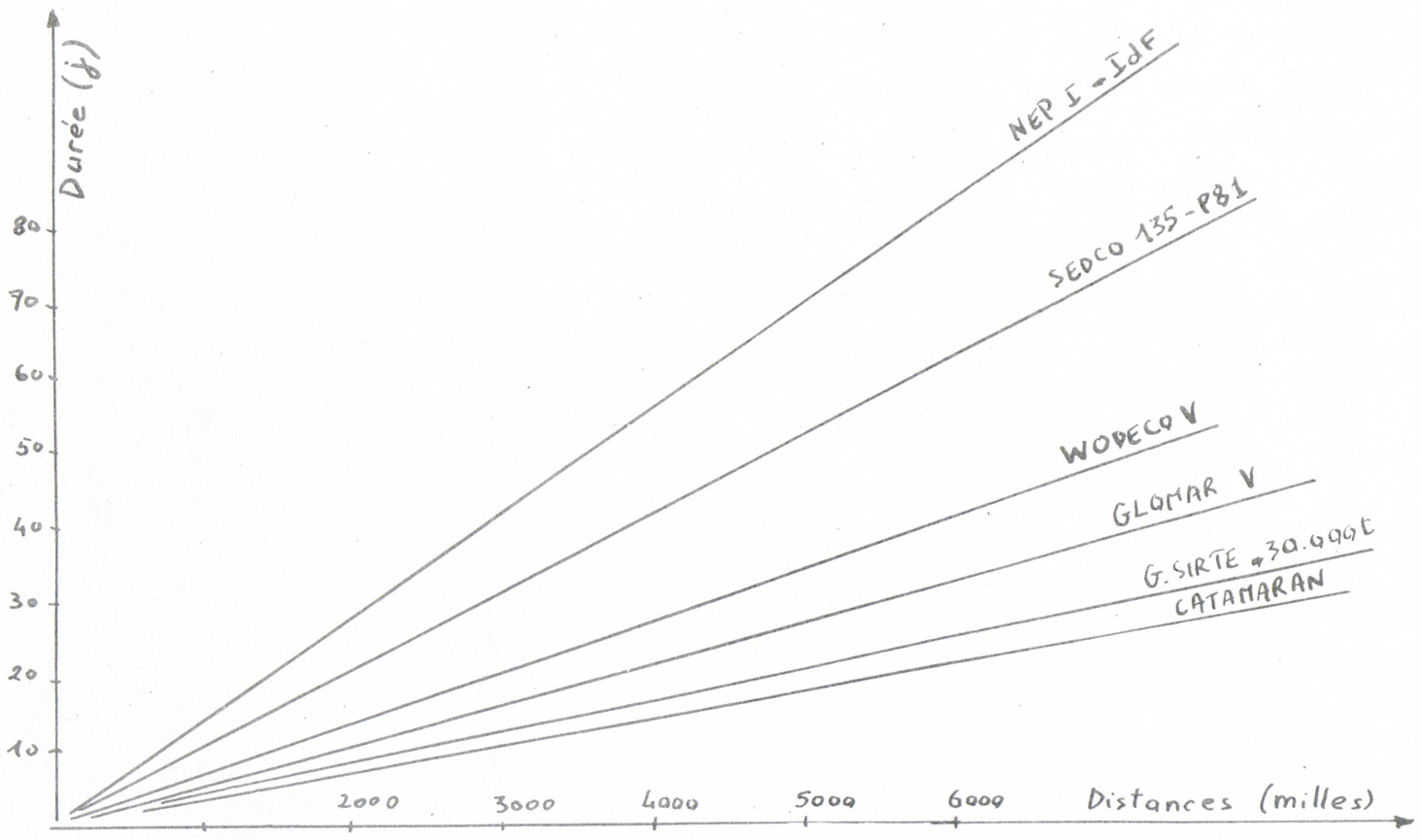
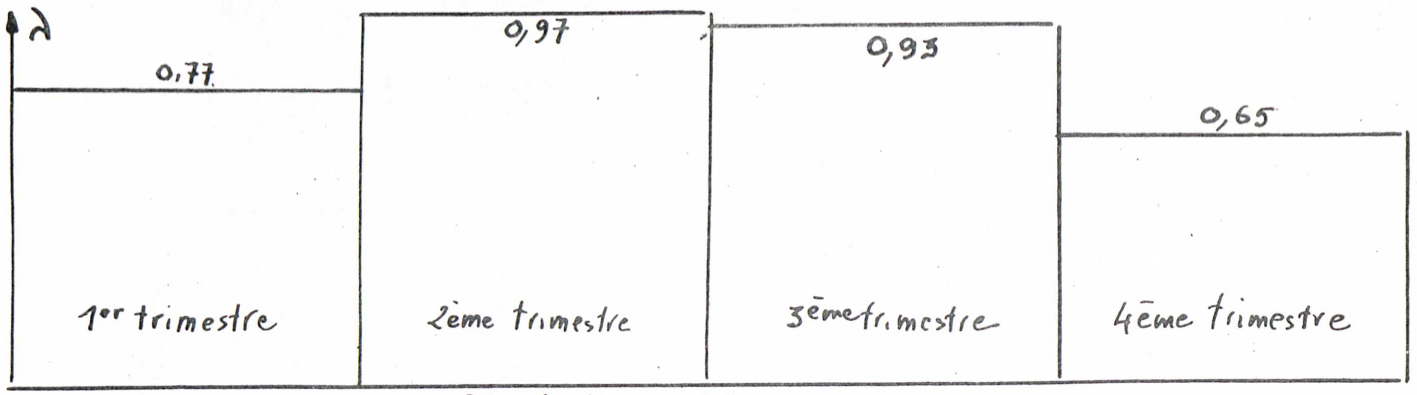


Figure (413, I): Déménagement - Coût, durée -



λ = taux d'utilisation en place.
époque zéro : début de la bonne saison.

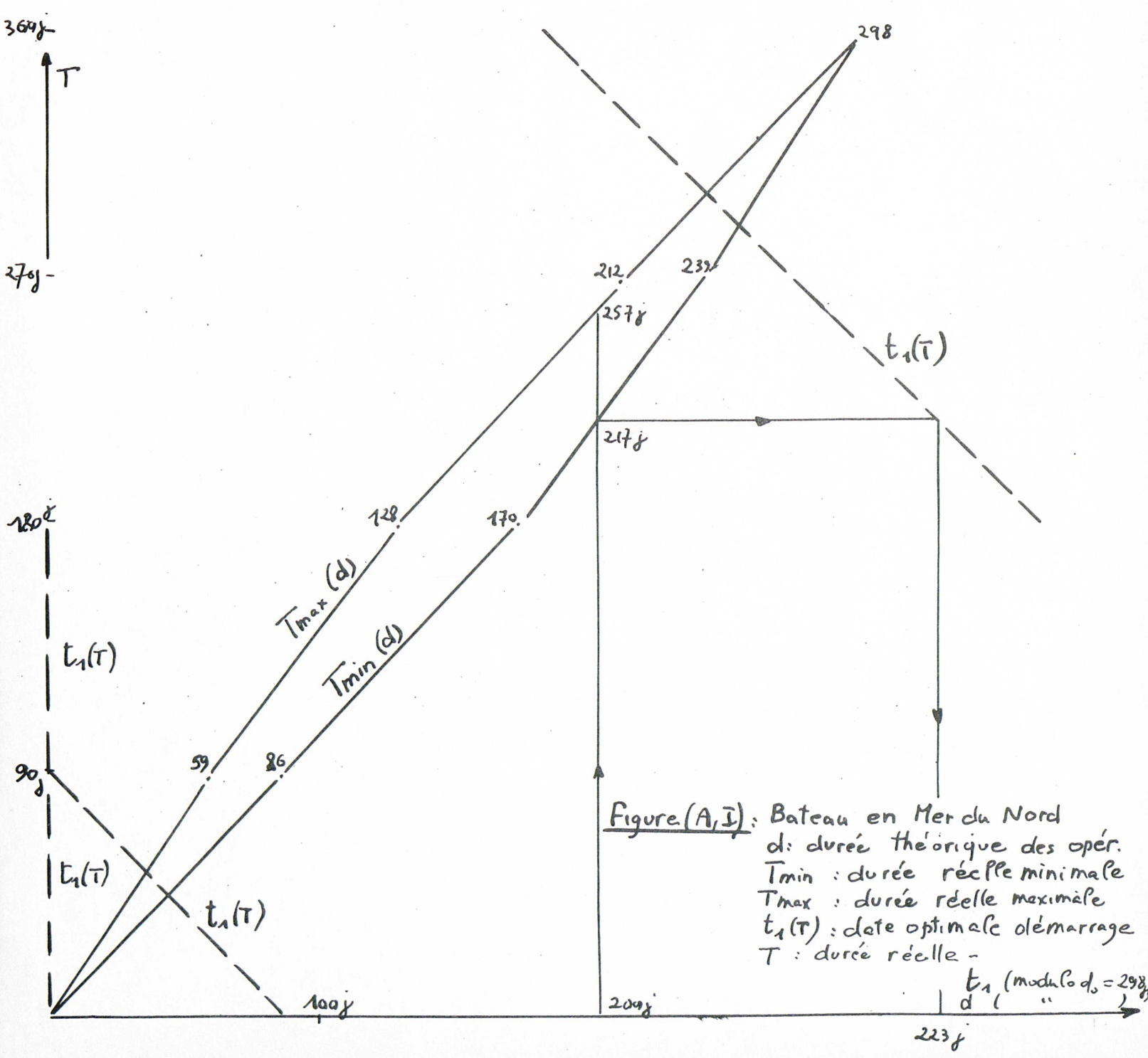
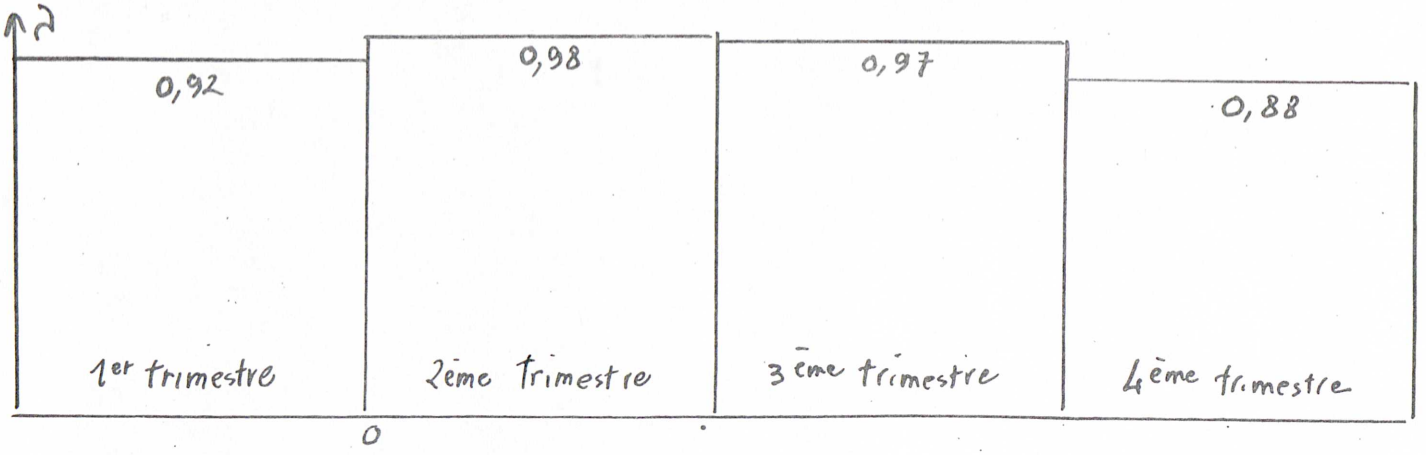


Figure (A, I) : Bateau en Mer du Nord
d : durée théorique des opér.
T_{min} : durée réelle minimale
T_{max} : durée réelle maximale
$t_1(T)$: date optimale démarrage
T : durée réelle.
t_1 (modulo $d_0 = 298j$)



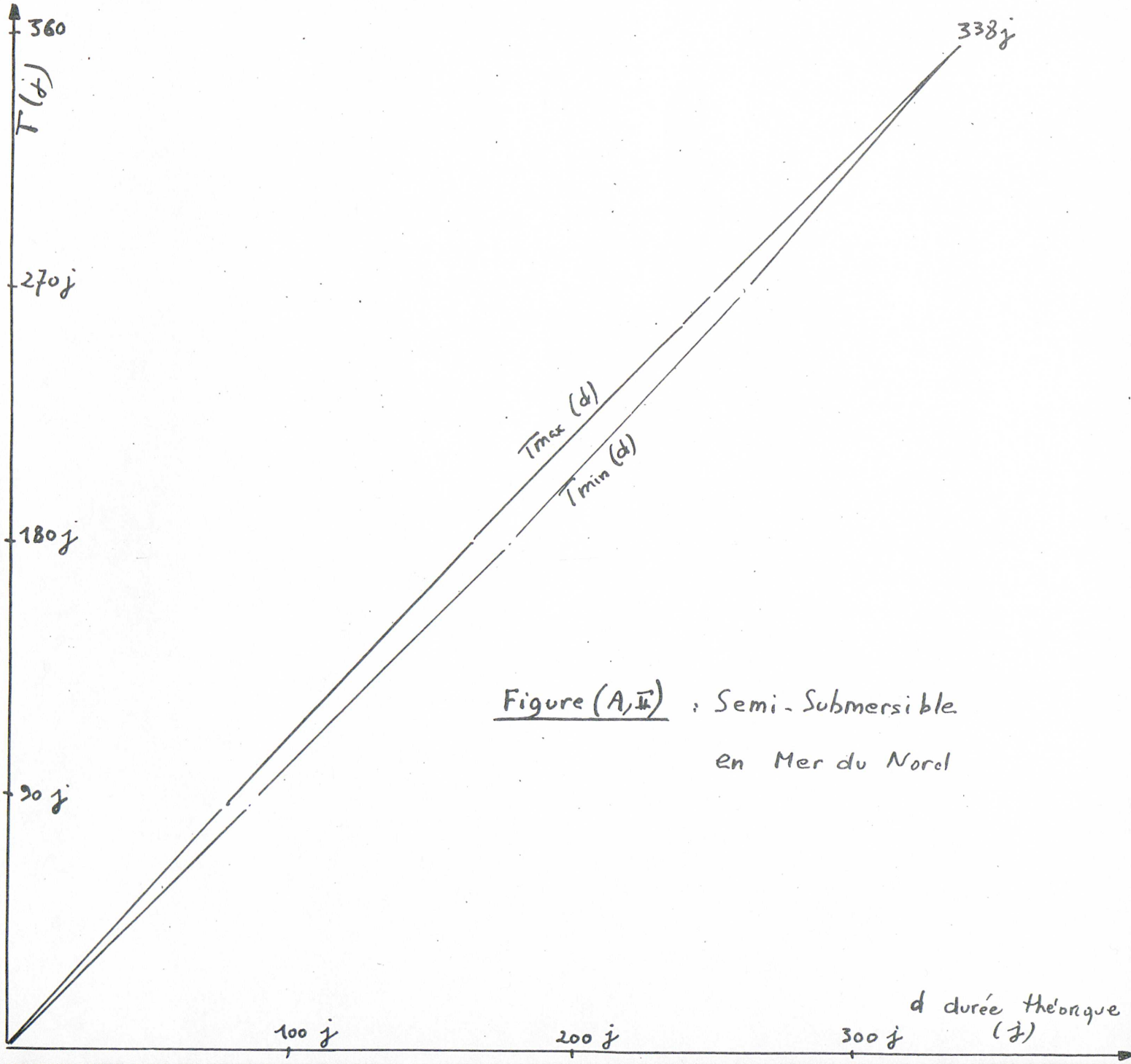


Figure (A, II) : Semi-Submersible en Mer du Nord

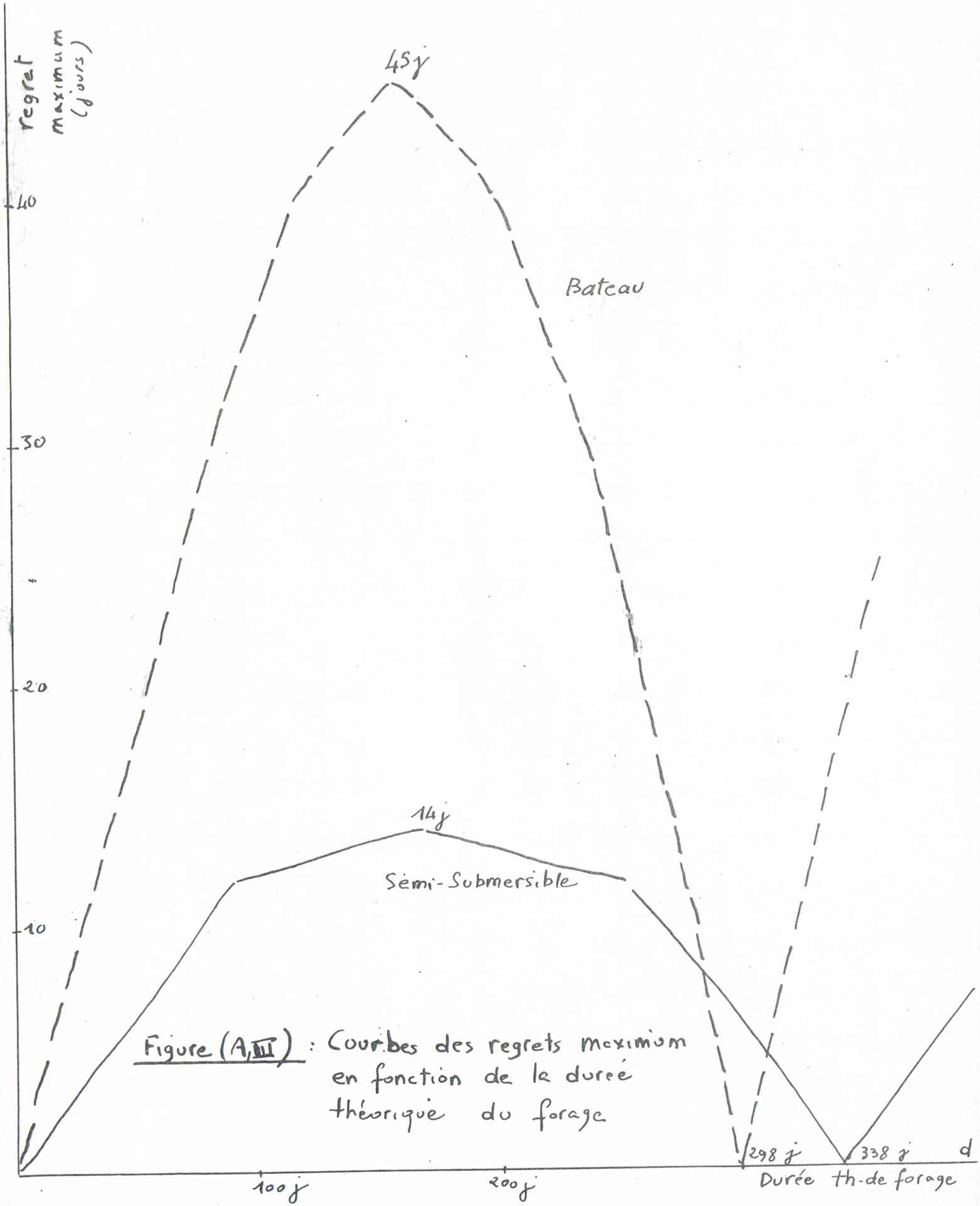


Figure (A, III) : Courbes des regrets maximum en fonction de la durée théorique du forage