



PLATES-FORMES FIXES DE PRODUCTION DES GISEMENTS SOUS-MARINS DE PÉTROLE ET DE GAZ NATUREL

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

PAR G. DREYFUSS *

Introduction

La production de pétrole et de gaz naturel à partir de gisements sous-marins s'est développée progressivement depuis une vingtaine d'années, d'abord aux Etats-Unis dans le golfe du Mexique et au Venezuela dans le lac Maracaïbo, puis dans d'autres emplacements du monde. Actuellement, 20 % du pétrole et du gaz naturel mondial, soit l'équivalent de 400 millions de tonnes de pétrole brut par an, proviennent de tels gisements.

Les installations de production sont presque toujours montées sur des plates-formes fixées au fond de la mer. Certaines plates-formes servent dans une première étape au forage des puits de production et reçoivent ensuite les installations permanentes de contrôle et d'entretien des puits, d'autres ne reçoivent que les installations de séparation, de compression et de pompage. Certaines, enfin, ne servent que de quartier d'habitation au personnel d'exploitation du champ.

Les grandeurs et les dispositions de ces plates-formes varient considérablement suivant leur destination initiale et finale, suivant les caractéristiques géométriques et physiques du réservoir, suivant les profondeurs d'eau et la sévérité de la mer.

La description de ces plates-formes a déjà été faite de nombreuses fois dans d'autres enceintes et il semble hors de propos d'en reparler ici.

De nombreuses sociétés françaises s'intéressent au développement de ces constructions. Dans le présent mémoire, nous avons voulu seulement exposer le fruit de quelques réflexions de notre groupe qui, depuis plusieurs années, a cherché à constituer une organisation capable de concevoir,

calculer, dessiner, réaliser et mettre en place de telles constructions dans tous les points du monde où une activité de recherche sous-marine est en cours.

Développement progressif de la technologie des plates-formes

Le passage de l'exploration et de la production terrestre à l'exploration et la production sous-marine s'est fait progressivement par l'intermédiaire des marécages, des lagunes et des lacs de Louisiane et du Venezuela. Il était tout naturel, lorsque le terrain en place n'avait pas la portance suffisante, de construire une plate-forme fondée comme les autres constructions civiles et industrielles sur pieux battus, moyen économique et efficace dans de tels terrains. Quand les puits durent être forés et exploités dans des zones noyées en permanence sous plusieurs mètres d'eau, on construisit tout naturellement des estacades, à l'extrémité renforcée pour supporter les charges plus lourdes des derricks complets pendant le forage, puis les installations de production permanentes.

Lorsque les fonds augmentèrent, le prix de l'estacade devint prohibitif et on se mit à construire des plates-formes en utilisant les moyens navals courants, les canalisations de liaison entre les puits et les installations de production étant posées au fond de l'eau.

Progressivement, une technologie autonome s'est constituée au fur et à mesure que les installations se construisirent à des distances plus grandes du rivage, dans des mers plus profondes et plus agitées.

Les différents problèmes de conception, de calcul, de construction et de mise en place ont évolué, en fonction de :

— l'éloignement du rivage;

* Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées e.d., Directeur général de la Société E.P.M.

G. DREYFUSS

— la taille;
— les charges de travail à supporter;
— l'effet des mouvements de la mer et du vent;
— la présence éventuelle de glace;
— l'existence de séismes dans la zone de construction;
et en fonction de la création de moyens navals de manutention spécialisés dont l'emploi s'est avéré justifié chaque fois qu'une zone productrice suffisamment importante est mise en exploitation.

Les techniques actuelles se rattachent fortement au passé. La sévérité progressive de l'environnement a d'abord conduit les intéressés à extrapoler les méthodes en usage sans trop se préoccuper au début de savoir si l'extrapolation des moyens éprouvés pour des conditions moins sévères constituait la meilleure réponse au cas actuel.

Le manque de données positives sur les actions à prendre en considération au fur et à mesure que l'on s'éloignait du rivage a généralement amené à sous-estimer la violence de ces actions sur une structure fixe.

De nombreux accidents entraînant des pertes de vies humaines et des pertes économiques de plusieurs centaines de millions de dollars, sans même y inclure les dommages résultant de la pollution, ont incité les compagnies pétrolières et les constructeurs à des efforts de clarification d'une très grande ampleur, d'abord en ordre dispersé, puis en se groupant malgré la concurrence commerciale très vive.

L'influence américaine prépondérante marque toujours de son empreinte efficacement pragmatique la technologie actuelle. Elle tire son efficacité de l'accumulation d'observations de nombreux détails, d'expériences réelles, aboutissant à des règles de conduites simples applicables à des échelons de décision très décentralisés aux niveaux des projets et des constructions.

Elle s'exprime peu par des exposés magistraux d'une doctrine intellectuellement cohérente.

Plusieurs événements sont venus cependant infléchir quelque peu cette tendance :

- la nécessité d'échanges d'informations au niveau international — pour minimiser dans une certaine mesure le coût de recherches parallèles;
- le contact avec le réseau des services contrôles nationaux et internationaux qui régit les constructions dans les pays de vieille civilisation rationnelle européenne.

Depuis quelques années les critères de projet, les méthodes de calcul de construction et de mise en place se sont affinés et la littérature technique fournit une moisson d'informations assez cohérentes, bien que toujours en dessous des besoins de la réalisation quotidienne qui doit se nourrir de sa propre expérience.

Réalisations

Après avoir consacré au sein de nos sociétés-mères plusieurs années de travail à l'étude fondamentale de l'ensemble des problèmes de la construction des ouvrages pétroliers off shore, notre groupe a constitué des moyens d'études et de travaux qui ont obtenu des contrats à l'échelle internationale et ont réalisé, depuis deux ans, des études complètes, la construction et la pose de plates-formes fixes à pieux battus d'après les techniques utilisées par les entreprises américaines.

Nos dernières études et réalisations les plus importantes concernent le golfe Persique où nous avons étudié et réalisé les plates-formes ayant les caractéristiques suivantes :

- une plate-forme de forage reposant, par l'intermédiaire de quatre piles, sur des fonds de 220 pieds, et munie d'un pont d'exploitation de douze puits;

- un pont de forage, assisté d'un tender, pour exécution de douze puits, venant coiffer cette plate-forme pendant leur exécution;
- deux plates-formes de forage, reposant par l'intermédiaire de quatre pieds, respectivement sur des fonds de 295 pieds et de 210 pieds, et munies chacune d'un pont d'exploitation de quatre puits;
- un pont de forage, assisté d'un tender, pour exécution de quatre puits par plate-forme, venant coiffer l'une puis l'autre de ces deux plates-formes pendant l'exécution des puits;
- une plate-forme de production, avec pont de production à quatre niveaux reposant par l'intermédiaire de six piles sur des fonds de 100 pieds, recevant 21 risers 6" et 8" et servant de départ à un sea-line de 18".

Ce pont supporte les séparateurs manifolds, les turbo-pompes, la centrale électrique, les réservoirs auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.

- une plate-forme avec pont à deux niveaux d'habitation et hélidock, reposant par l'intermédiaire de six piles sur des fonds de 100 pieds.

Ce pont comporte sur un niveau trente chambres individuelles et les sanitaires et sur l'autre niveau, salle de restaurant, cuisine, chambres froides, etc.

- deux plates-formes tripodes supports de torches pour fonds de 100 pieds reliées chacune à la plate-forme production par une conduite de gaz immergée de 16";
- une passerelle de 30 m de portée reliant les plates-formes production et habitation ci-dessus.

Expériences acquises au cours de ces études et réalisations

Etudes.

Pour étudier ces plates-formes, nous avons largement fait appel au calcul sur ordinateur, en assurant progressivement un enchaînement de programmes standards que nous avons complétés pour nos propres besoins.

Les principaux programmes standards sont un programme donnant les vitesses et les accélérations de la houle par les formules de Stokes and Struik, et le programme *FRAN* d'I.B.M. pour le calcul statique des grandes ossatures rigides.

Nous avons assuré l'enchaînement des opérations de calcul en mettant au point des programmes de calcul qui recueillent et transfèrent les résultats intermédiaires sous la forme requise pour le traitement ultérieur :

- les coordonnées des nœuds de la structure;
- les forces dues à la houle (traînée et accélération);
- les réactions du sol sur les piles et des piles sur les éléments d'angle;
- les contraintes entrant dans les formules réglementaires de vérification.

Les hypothèses, définies le plus souvent par le maître d'ouvrage sur coefficients de traînée et de masse ajoutée, pour une forme conventionnelle admise de houle périodique, ont une grande influence sur les résultats et il est normal que les maîtres d'ouvrage consacrent l'essentiel de leurs efforts à mieux asseoir leurs connaissances dans ce domaine.

En ce qui nous concerne, nos efforts doivent surtout tendre à améliorer les performances et surtout la souplesse d'emploi des programmes pour en faire des outils de projecteurs, alors qu'actuellement, ils sont surtout des outils de vérificateurs. Essentiellement, il s'agit de découper les

opérations pour sauvegarder des résultats partiels, tout en modifiant des données de certains ensembles.

Une telle adaptation est nécessaire, car le calcul d'une plate-forme dans les conditions actuelles, est un problème évolutif : les commandes sont souvent passées par les maîtres d'ouvrage avant que les données géologiques précises des champs soient définitivement acquises, et avant que les engins et appareils utilisés pour le forage ou la production aient été définis. Les données des charges de service évoluent donc naturellement au fur et à mesure que les idées se précisent.

De même, les commandes de matériaux doivent être lancées avant que les détails de la structure aient été arrêtés et compte tenu des difficultés d'approvisionnement, les dimensions et qualités disponibles dans les délais ne suivent pas exactement le programme de la nomenclature initiale. Ainsi, la structure doit s'accommoder de l'utilisation des matériaux réellement disponibles, dont la définition évolue suivant les aléas qui grèvent les fabrications et expéditions.

Une partie très importante du travail des projeteurs concerne les détails de construction dont l'influence sur la résistance et la stabilité globale sont faibles, mais dont la commodité d'emploi est décisive pour l'appréciation des utilisateurs.

Construction.

Nous avons pratiqué, suivant les cas, la construction sur atelier forain ou sur chantier métropolitain. La solution économique dépend de l'éloignement, de la grandeur et du nombre de structures à construire. Lorsqu'un volume de travaux important est prévisible, la construction sur site forain est justifiée.

Nous avons utilisé plusieurs formules de construction différentes en cherchant à minimiser les opérations d'assemblage par soudure en position acrobatique. Il n'en demeure pas moins qu'un certain nombre d'assemblages doivent être faits « en l'air » par des opérations de soudage « en toutes positions ». Cela incite à concevoir des assemblages aussi simples que possible. La conception des nœuds en résulte ; la tendance est d'employer aux nœuds des manchettes d'épaisseur renforcées plutôt que de rajouter des goussets, des manchons ou des selles de renfort. Cette conception qui résulte de considérations essentiellement pratiques, favorise la tenue aux efforts alternés.

La productivité des chantiers forains est grandement améliorée quand on peut y installer des machines à découper et chanfreiner et à souder à haut rendement pour assurer au moins les assemblages courants, bout à bout. L'emploi de ces machines pour d'autres assemblages suppose aussi des formes simples.

Les machines à employer doivent être d'une grande robustesse pour résister aux intempéries, aux conditions d'entretien des chantiers forains et aux déménagements multiples, elles doivent donc être simples pour demeurer d'un prix intéressant.

Transport et mise en place.

Les transports se font généralement sur barges à pont plat. Les opérations de ripage du chantier de construction à terre sur la barge constituent une opération de transport de charges lourdes sur faible distance sans moyens de levage ni de support exceptionnels. La structure doit souvent être renforcée en fonction des charges locales prévisibles pendant cette manutention.

Il semble possible d'améliorer nettement cette manutention par des auxiliaires tels que coussins plastiques et rouleaux gonflables, chariots à grosses roues, mais de tels

engins spéciaux de manutention, utilisés couramment pour le ripage à terre des derricks complets sont, pour le moment, encore d'un prix trop élevé pour qu'on puisse en doter des chantiers forains de production limitée.

Le transport des structures sur les barges constitue un problème d'attache et de remorquage. Les structures étant bien plus rigides que les barges qui les supportent, des efforts très importants se produisent aux attaches quand les structures sont fixées rigidement au pont. On pourrait être tenté de concevoir des attaches permettant un certain jeu, mais la réalisation pratique de telles attaches est difficile. Il y a, là encore, un domaine de développement intéressant, où l'expérience pratique américaine est précieuse.

La mise à l'eau par basculement constitue une opération spectaculaire qui doit être étudiée en détail pour limiter les efforts et sur la structure et sur le bateau porteur. Dans ce domaine aussi, les développements concernent plutôt une multitude de détails que des problèmes fondamentaux.

La manutention de la structure immergée par un bateau flottant constitue un problème difficile, commun à tous les travaux maritimes ; les efforts de traction sont influencés par les forces d'inertie et une étude soignée doit être faite, d'autant plus que les masses en présence sont notablement plus élevées que dans les travaux maritimes courants.

Une fois la structure placée à son emplacement exact, la fixation au fond par pieux battus constitue aussi une performance : les piles à mettre en place ont des longueurs pouvant dépasser 120 m et des poids pouvant dépasser 50 t. Les engins utilisés pour la mise en place, battage, ou forage, sont des monstres, et l'étude des couplages marteau, pile, sol, mériterait de longs commentaires et des efforts de développement.

Nos barges sont équipées de marteaux ayant les performances suivantes :

- masse frappante : 6,5, 9 et 11 t;
- énergie par coup : 50, 80 et 180 kj;
- nombre de coups/mn : 100, 60 et inférieur à 50.

Ces marteaux, déjà considérables, ne sont pas les plus puissants existant sur le marché. Ils ne permettent pas de traverser les couches très compactes telles que des dalles calcaires ou conglomérats fortement cimentés qui se présentent dans certains fonds, sur des profondeurs de quelques mètres insuffisantes pour assurer une fondation stable. Ces couches dures sont actuellement forées à l'aide de matériel classique à table de rotation ou à l'aide de turbines de forage.

L'amélioration des procédés de mise en place des pieux constitue un domaine d'études de développement auquel les entreprises s'intéressent particulièrement.

Dans ce domaine, nous avons mis au point, d'après les études américaines sur la propagation des vibrations dans les piles, un procédé de dépouillement des relevés de battage qui permet de comparer les avantages respectifs de plusieurs types de marteaux pour le battage d'une pile donnée dans un terrain de type connu et qui permet d'influencer le choix des diamètres et épaisseurs en vue de faciliter la mise en place.

Conclusion

Les ouvrages dont nous avons parlé ne présentent pas le caractère spectaculaire de la nouveauté ou de la grandeur. Ils tendent à être réalisés en série. De nombreux perfectionnements dans les moyens d'étude, de réalisation et de mise en place demeurent possibles et sont nécessaires pour maintenir un niveau de prix compétitif.

La tâche de nos entreprises est sollicitée de façon prioritaire par l'amélioration de nombreux détails de conception des procédés de construction et de mise en place plutôt que par les études fondamentales sur la prévision des conditions d'environnement ou la définition de l'action des éléments dans les situations extrêmes.

Les études faites dans ce domaine sont néanmoins suivies par elles avec attention de façon à être en mesure d'adapter les procédés de calcul, de construction et de mise en place aux besoins nouveaux qui se manifestent lorsque des projets plus difficiles seront rendus possibles par l'heureux aboutissement de ces efforts de recherche.

Discussion

Président : M. P. WILLM

M. le Président remercie chaleureusement M. DREYFUSS pour la prise de contact avec le réel apportée par son exposé; il ouvre ensuite la discussion.

A quelles dispositions réglementaires sont soumis les calculs évoqués par M. DREYFUSS? demande M. COIRAL. Sont-ils soumis à des organismes de vérification, tels que les bureaux Veritas, A.B.S., Coast Guards, etc. D'une façon générale, comment sont résolus les problèmes de répartition des responsabilités, notamment entre maître d'œuvre et entrepreneur?

C'est là un problème difficile qui pourrait faire l'objet d'une longue discussion, répond M. DREYFUSS. Pour nos clients, généralement américains, nos calculs sont menés suivant les règles du code A.I.S.C., établi suivant les recommandations d'une commission de l'American Petroleum Institute pour la construction des plates-formes.

Les Sociétés auxquelles s'intéressent M. COIRAL sont, semble-t-il, assimilables à des constructeurs navals et parfois à des armateurs. Notre situation, dit M. DREYFUSS, est différente, car nous appartenons à la corporation des travaux publics; au sein de celle-ci, traditionnellement, la responsabilité d'une construction — route, pipe-line, plate-forme — est presque exclusivement supportée par l'entrepreneur tandis que la conception et surtout le contrôle relèvent du maître d'ouvrage.

M. PLANEIX pose la question suivante :

« Dans votre exposé, il est fait mention de « programmes standards », non seulement pour le calcul de structure proprement dit (on suppose qu'il s'agit dans ce cas de programmes genre *Fran* ou *Strudl*), mais également pour le calcul des forces appliquées. S'agit-il d'un programme propre à votre firme ou d'un programme commercial? »

Il s'agit, répond M. DREYFUSS, d'un programme que nous avons établi pour le calcul des forces hydrodynamiques sur nos structures à partir de la définition du champ de houle. Il est dit standard parce qu'il est applicable quelle que soit la formule choisie pour définir ce dernier (houle de Stokes au 3^e ordre, houle d'Airy, etc.) et quelle que soit la structure soumise aux efforts. Les coordonnées des extrémités et le diamètre de chaque membrure étant fournis à l'ordinateur, celui-ci donne très rapidement les forces hydrodynamiques affectant ladite membrure.

Ce programme a été établi, par nos soins, mais il n'a rien d'original et nous considérons que sa commercialisation n'est pas du ressort d'organisations comme la nôtre, précise M. DREYFUSS.

M. VILAIN fait alors la déclaration suivante :

« J'ai eu l'honneur d'être invité à visiter les chantiers d'E.P.M. dans le golfe Persique, et j'ai assisté au lancement d'une plate-forme. Je crois que M. DREYFUSS est beaucoup trop modeste. Il s'agit de beaux et grands travaux qui font honneur à ceux qui les ont menés à bien et montrent les possibilités des entreprises françaises à l'étranger. Je suis heureux d'en apporter, ici, le témoignage (*Applaudissements*). »

M. le Président joint ses félicitations et ses remerciements à ceux exprimés par M. VILAIN et conclut en ces termes :

« Je remercie la Société Hydrotechnique de France qui a ouvert aujourd'hui ses portes à ces techniciens bien particuliers que sont les pétroliers ... tout spécialement « les pétroliers en mer »; je crois que cette « ouverture » portera ses fruits et aura dans les années prochaines des prolongements importants dans notre mode en perpétuelle évolution. »

La séance est levée à 12 h 30.

