

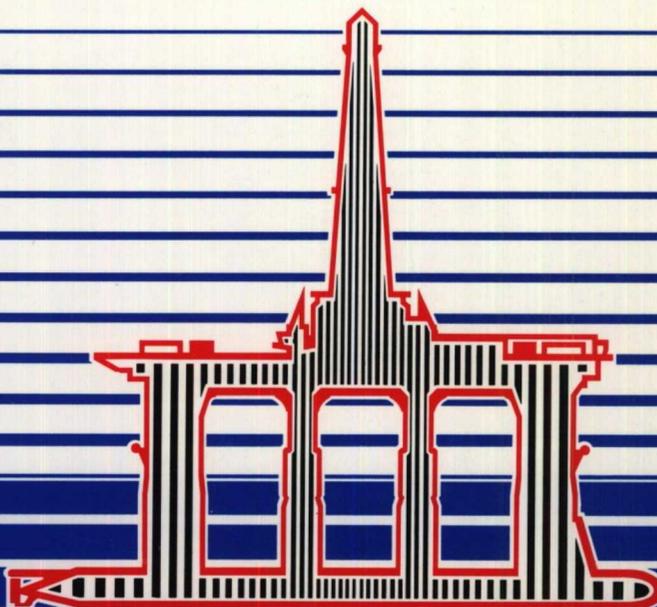
Royal Commission on the
Ocean Ranger Marine Disaster

Canada



Commission Royale sur le
Désastre Marin de l'*Ocean Ranger*

Newfoundland & Labrador



TN871.3

.R414

v.4

c. 1 aa

**Deuxième rapport: La sécurité au large de la
côte est du Canada. *Actes de la Conférence, 1984***

TN871.3

.R414

v.4

c. 1 aa

ACCESS CODE CODE D'ACCÈS	<u>AEZ</u>
COPY / ISSUE EXEMPLAIRE / NUMÉRO	<u>C.1</u>

PROPERTY OF - PROPRIÉTÉ DU
PRIVY COUNCIL OFFICE
BUREAU DU CONSEIL PRIVÉ
LIBRARY
BIBLIOTHÈQUE



La Commission royale sur le désastre marin de
l'*Ocean Ranger* a été créée et subventionnée
conjointement par les gouvernements du
Canada et de Terre-Neuve

**Deuxième rapport: La sécurité au large de la
côte est du Canada. Actes de la conférence, 1984**

**Deuxième rapport: La sécurité au large de la
côte est du Canada. *Actes de la Conférence, 1984***

© Ministre des Approvisionnementnements et Services Canada 1985

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste auprès du:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnementnements et Services Canada
Ottawa, (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue Z 1-1982/1-4F
ISBN 0-660-91468-9

Canada: 16,75 \$
à l'étranger: 20,10 \$

Prix sujet à changement sans avis préalable

Les deux rapports de la Commission royale sur le désastre marin de l'*Ocean Ranger* se composent des quatre volumes suivants:

Volume 1 **Rapport premier: La perte de l'installation de forage semi-submersible *Ocean Ranger* et de son équipage**

Volume 2 **Deuxième rapport: La sécurité au large de la côte est du Canada**

Volume 3 **Deuxième rapport: La sécurité au large de la côte est du Canada. *Études et ateliers***

Volume 4 **Deuxième rapport: La sécurité au large de la côte est du Canada. *Actes de la Conférence, 1984***

Le volume quatre reproduit les actes de la Conférence internationale sur la sécurité au large de la côte est du Canada qui s'est tenue à Saint-Jean, Terre-Neuve, du 21 au 23 août 1984.

TABLE DES MATIÈRES

	AVANT-PROPOS	i
PREMIÈRE SÉANCE	INTRODUCTION	3
	L. Harris Mot de bienvenue	
	L'honorable T. Alexander Hickman, Juge en chef Observations liminaires	5
	O.M. Solandt Présentation de la Conférence	7
	G.R. Harrison Discours-programme	9
DEUXIÈME SÉANCE R.A. Hemstock président	L'ENVIRONNEMENT ET LA CONCEPTION	21
	Introduction	
	Document B1 <i>Facteurs environnementaux critiques au large de la côte est du Canada</i> W.L. Ford	23
	Commentaires des participants à la discussion L. Draper, W. Speller	
	Document B2 <i>Incidence des facteurs environnementaux sur la conception</i> C.A. Bainbridge	32
	Commentaires des participants à la discussion B.P.M. Sharples, G.P. Vance	
	Résumé de la discussion générale	
	Document C1 <i>Principes et processus de conception relatifs à la sécurité en mer</i> W.H. Michel	55
	Commentaires des participants à la discussion T. Haavie, W. Martinovich	

L'ENVIRONNEMENT ET LA CONCEPTION (suite)

Document C2	69
<i>Systèmes critiques et continuité de la responsabilité technique</i>	
A.M. Koehler, D.R. Ray, A.A. Broussard	
Commentaires des participants à la discussion	
F. Atkinson, M. Vermij	
Résumé de la discussion générale	

TROISIÈME SÉANCE

G.M. MacNabb
président

L'INTERACTION DE L'HOMME ET DE LA MACHINE

Introduction	81
Document D	83
<i>Le savoir-faire de l'opérateur devant la technologie des systèmes critiques</i>	
P. Foley	
Commentaires des participants à la discussion	
H. Haakonson, H.L. Zinkgraf	
Résumé de la discussion générale	

Document E	93
<i>Organisation et gestion</i>	
R. McGrath	
Commentaires des participants à la discussion	
J. Hielm, F. Williford	
Résumé de la discussion générale	

QUATRIÈME SÉANCE

A.J. Mooradian
président

LES SITUATIONS D'URGENCE

Introduction	107
Document F	109
<i>Évacuation et survie</i>	
C. Shaar	
Commentaires des participants à la discussion	
C. Brooks, D.J. Riffe	
Résumé de la discussion générale	

Document G	121
<i>Aperçu de la recherche opérationnelle sur un système de sauvetage permettant d'intervenir efficacement dans les situations d'urgence en milieu océanique froid</i>	
E. Klippenberg	
Commentaires des participants à la discussion	
I. Denness, G.R. Lindsey	
Résumé de la discussion générale	

CINQUIÈME SÉANCE

J.E. Hodgetts
président

LA RÉGLEMENTATION

Introduction

Document H

Mécanismes de contrôle pour une véritable sécurité des opérations

Documents H1, H2, H3, H4

I. Manum

G.L. Hargreaves

T.S. McIntosh

C. Bonke

Résumé des discussions entre les conférenciers

Résumé de la discussion générale

139

141

143

147

151

SIXIÈME SÉANCE

O.M. Solandt
président

CONCLUSION

Introduction

Allocutions-synthèses par les présidents de séances

R.A. Hemstock

G.M. MacNabb

A.J. Mooradian

J.E. Hodgetts

Résumé de la discussion générale

Allocutions de clôture

O.M. Solandt

L'honorable juge en chef, T.A. Hickman

161

163

165

169

171

179

185

APPENDICES

A. Causerie du dîner

M. L. Kerwin

Président

Conseil national de recherches du Canada

B. Liste des principaux conférenciers

C. Liste des participants à la discussion

D. Liste des participants

E. Comité du programme de la Conférence

F. Présidents

189

197

199

203

209

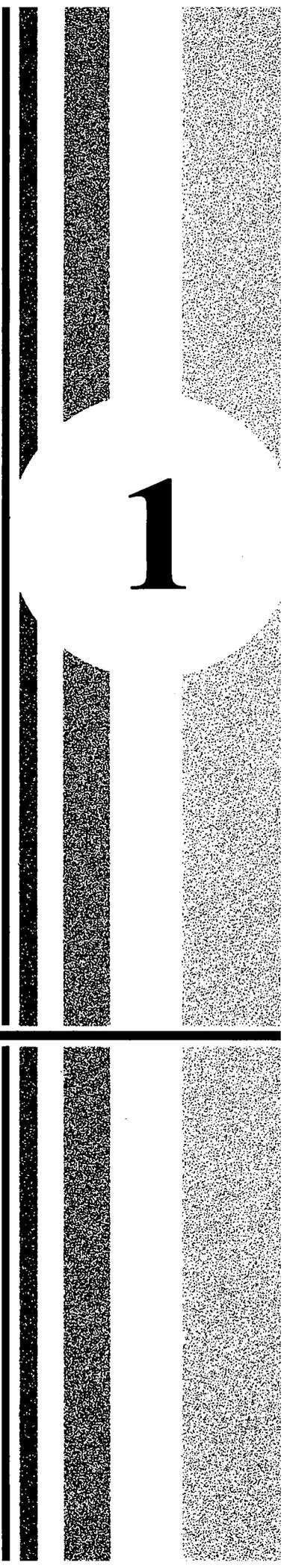
211

AVANT-PROPOS

La Commission royale a pour mandat d'enquêter sur la perte de la plate-forme de forage *Ocean Ranger* et de son équipage (partie un) et d'examiner la sécurité des opérations de forage au large de la côte est du Canada (partie deux). La Commission a terminé son enquête sur le naufrage; les audiences publiques officielles pendant lesquelles ont été entendus les divers témoignages sur cette catastrophe se sont terminées à la fin de mars 1984. Le premier rapport (le rapport définitif sur le naufrage) a été présenté au gouvernement du Canada et à celui de Terre-Neuve qui l'ont rendu public à la mi-août 1984, mettant ainsi un terme au processus quasi-judiciaire associé à l'enquête sur cette catastrophe maritime.

Pour le deuxième volet de son mandat, la Commission a opté pour un processus consultatif moins rigide grâce auquel elle espérait recueillir tant des opinions que de l'information factuelle. Une série d'études a donc été entreprise qui devait donner à la Commission d'enquête un aperçu succinct mais complet de la situation dans les principaux domaines d'intérêt. Ces études, ainsi que les diverses communications reçues et les données techniques recueillies pendant l'enquête instituée en vertu de la partie un du mandat, forment la base des renseignements à laquelle la Commission a puisé pour rédiger son deuxième et dernier rapport.

La Conférence sur la sécurité au large de la côte est du Canada qui s'est tenue à Saint-Jean (Terre-Neuve) du 21 au 23 août 1984 a été organisée par la Commission royale en collaboration avec l'Université Memorial de Terre-Neuve. Elle a donné lieu aux premières consultations publiques sur le fruit de ces recherches de même que sur les questions importantes à l'étude. Avant la Conférence, des résumés de la plupart des études faites pour la Commission ont été distribués aux participants sous forme de dossiers d'information. L'objet principal de la Conférence était d'amener les experts à débattre des questions fondamentales que la Commission royale doit aborder et de mettre en lumière en même temps certaines orientations nouvelles et diverses possibilités d'amélioration. On trouvera dans ces pages les exposés officiels présentés au cours de la Conférence de même que des résumés des discussions qui les ont entourés et des réactions qu'ils ont suscitées. Les rédacteurs n'ont pas cherché à uniformiser ni le ton ni le style des exposés présentés à la Conférence, croyant qu'un compte rendu exact des divers points de vue et d'intérêt importait davantage qu'une présentation uniforme. La Commission royale s'inspirera largement de ces documents pour rédiger le rapport définitif qu'elle doit présenter aux gouvernements.



1

INTRODUCTION



INTRODUCTION

BIENVENUE À L'UNIVERSITÉ MEMORIAL DE TERRE-NEUVE

L. Harris
Président
Université Memorial de Terre-Neuve

L'Université Memorial est honorée et privilégiée d'accueillir en ses murs tant de distingués commissaires d'enquête, ingénieurs, scientifiques, cadres d'entreprises et autres personnes qui portent un véritable intérêt à la question à l'étude. Parmi les membres les plus réputés de cette assemblée, je suis tout particulièrement heureux de souligner la présence de quelques-uns qui nous ont déjà fait l'honneur d'accepter des doctorats honorifiques de notre université. Je me réjouis également que certains de nos professeurs, notamment ceux des facultés du génie et de la médecine participent aux séances et aux délibérations des prochains jours.

Vues sous l'angle des technologies en devenir, rares sont les délibérations susceptibles d'avoir autant de conséquences ou de signification que celles qui nous occupent actuellement. L'émergence d'une activité industrielle d'envergure dans un milieu aussi rebelle que celui de l'Atlantique Nord constitue certes un défi de taille pour les gouvernements, pour l'industrie, pour la communauté scientifique et technique, bref, pour tous ceux que cette activité intéresse. Et ce défi se traduit avant tout par la nécessité de garantir une certaine sécurité à ceux qui s'adonnent à leurs activités dans l'immensité de ces eaux.

Ces eaux immenses, j'en ai une connaissance personnelle - encore que bien imparfaite - qui remonte à bien des années en arrière, car toute ma famille a tiré sa subsistance des eaux des Grands bancs. Dans mon enfance, la topographie du fond marin du plateau continental de l'Amérique du Nord m'était plus familière que la toponymie de l'intérieur. Je connaissais également les périls de ces eaux, les dangers, le déchaînement terrible des tempêtes sur l'Atlantique, l'agitation des mers, la force des coups de vent, l'opacité des brouillards, la menace des glaces dérivantes et tous les autres risques associés à la vie en mer. Dans ce milieu, je savais - et je sais toujours - que la sécurité est au prix d'une vigilance de tous les instants. À vrai dire, c'est une vigilance de tous les instants appuyée par les systèmes et procédés les plus raffinés que, par leur ingéniosité, nos scientifiques et techniciens peuvent maîtriser et que, dans leur sagesse, nos dirigeants politiques peuvent adopter.

J'ai bon espoir que cette conférence contribuera grandement à nous faire progresser dans cette direction et vers les objectifs que nous partageons. Je suis tout particulièrement heureux de voir que c'est ici même, sur le campus de cette université, qu'elle se déroule. Je me réjouis également de ce que nous ayons pu faire notre petite part dans l'organisation de cette conférence et permettez-moi de vous redire encore combien je suis heureux de vous souhaiter à tous la plus chaleureuse des bienvenues et la plus fructueuse des rencontres.

**L'honorable
T. Alexander Hickman, juge en chef
Président de la Commission**

OBSERVATIONS LIMINAIRES

Permettez-moi, au nom de la Commission royale sur le désastre marin de l'*Ocean Ranger*, de vous souhaiter, à tous et à chacun, la bienvenue à Saint-Jean et dans la province canadienne de Terre-Neuve. Nous vous avons invités à vous joindre à nous, ici dans la plus vieille ville d'Amérique du Nord, pour prendre part à un événement inhabituel. C'est en effet la toute première fois qu'une commission royale d'enquête canadienne organise une conférence internationale. Nous considérons que les trois prochains jours seront un élément marquant du processus de consultations publiques que nous avons entrepris pour remplir la partie deux de notre mandat. Nous avons sollicité votre participation en raison des connaissances et de l'expérience que vous possédez dans l'un ou plusieurs des secteurs clés qui influent sur la sécurité au large de la côte est du Canada.

Bien des points de vue sont représentés ici: ceux des gouvernements, du Canada et d'autres pays; ceux de l'industrie: les exploitants, les entrepreneurs en forage et les entreprises de service, et ceux enfin des sociétés de classification, des firmes de consultants et des maisons d'enseignement. Dans cette enceinte se trouve rassemblé aujourd'hui un groupe de personnes éminemment qualifiées pour discuter des importantes questions que doit aborder la Commission royale. Les aspects qui se trouvent au coeur de l'énorme défi que représente l'accroissement de la sécurité embrassent non seulement les questions relativement simples - mais non moins très importantes - de savoir si certaines pièces d'équipement sont adéquates et si les gens reçoivent la formation voulue pour le travail qu'ils font, mais exigent aussi que nous explorions de nouvelles avenues dans les relations complexes qui régissent ces activités et que nous jetions un regard neuf sur l'efficacité qu'on en attend au cours de la prochaine décennie. Voilà qui est essentiel si nous voulons garantir le maintien d'un niveau acceptable de sécurité au large de la côte est du Canada.

Les participants abordent cette conférence en étant parfaitement conscients de l'énorme accroissement d'activité qui a marqué les dernières années en fait de recherche et d'exploitation des réserves de pétrole et de gaz offshore partout dans le monde, accroissement qui n'est pas sans poser un défi opérationnel beaucoup plus onéreux et risqué que ce n'est le cas pour ceux qui travaillent sur terre dans des milieux moins hostiles. L'humanité a exploré et exploité une bonne partie de la masse terrestre mondiale dans sa recherche de pétrole et de gaz; l'attention se déplace maintenant vers les quatre cinquièmes restants de la surface du globe qui sont recouverts d'eau.

Ceux qui gagnent leur vie dans les industries d'extraction, particulièrement

en mer, savent que ce travail comportera toujours un élément de risque. Ce qu'ils veulent, eux et leurs familles, c'est d'être assurés que toutes les mesures raisonnables ont été prises pour réduire ce risque et accroître la sécurité des personnes. C'est dans la poursuite de ce but à la fois souhaitable et accessible que la Commission a convoqué cette conférence; elle espère ainsi obtenir l'opinion et les conseils éclairés de ceux qui ont une expérience pratique des opérations de forage en mer, au Canada ou ailleurs. Rien ne peut remplacer le dialogue franc et ouvert entre personnes bien informées qui ont à coeur la sécurité de ceux qui travaillent dans le milieu marin hostile de l'Atlantique Nord, au large de la côte est du Canada.

D'habitude, les conférences sont organisées au profit des participants. Celle-ci fait exception en ce sens qu'elle a été organisée avant tout au profit de la Commission royale. Voilà pourquoi elle a été structurée comme elle l'est et voilà pourquoi nous n'avons invité qu'un nombre restreint de spécialistes parmi tous ceux qui auraient été en mesure de nous épauler dans notre tâche. Si nous voulons que cette conférence atteigne vraiment son but, vos discussions doivent être franches et ouvertes. Je sais que ce sera le cas. La conférence ne se veut pas une séance officielle de la Commission mais plutôt le lieu d'une discussion éclairée à laquelle les membres de la Commission et son personnel assistent à titre d'auditeurs avides mais silencieux. De cette façon, nous espérons utiliser au mieux vos compétences réunies et le peu de temps dont nous disposons.

Comme vous le savez tous, nous avons terminé la partie un de notre enquête sur la perte de l'*Ocean Ranger* en mars dernier et notre rapport a été rendu public la semaine dernière par les gouvernements du Canada et de Terre-Neuve. Sa publication signifie la fin de la phase quasi-judiciaire de nos travaux qui consistaient à établir les faits ou, à défaut, d'en arriver à une opinion crédible pour les besoins de nos conclusions. Nous avons fait de notre mieux pour répondre aux deux questions que comportait notre mandat, à savoir: pourquoi l'*Ocean Ranger* s'est-elle abîmée en mer et pourquoi n'a-t-on pas réussi à sauver un seul membre d'équipage? Là-dessus, nous espérons que les participants à la Conférence ne s'attarderont pas à débattre du mérite ou du démerite des conclusions et recommandations de notre premier rapport.

Nous vous invitons plutôt à vous pencher sur la troisième question qui compose notre mandat, en l'occurrence: comment pouvons-nous éviter d'autres catastrophes du genre? Pour cela, il faut tourner nos regards vers l'avenir et chercher à recueillir des opinions plutôt que de nous en remettre à des faits. Et l'une des meilleures façons de sonder l'opinion est d'amener les gens compétents à discuter avec leurs pairs. Voilà donc pourquoi nous avons décidé d'organiser cette conférence de concert avec l'Université Memorial de Terre-Neuve.

Mon collègue, l'honorable Gordon Winter, vice-président de la Commission royale, a bien voulu accepter de présider le comité du programme de la Conférence. Je tiens à le remercier pour la façon experte avec laquelle il a mené les travaux préparatoires à cette conférence, tâche ardue entre toutes, ne serait-ce que pour arrêter le choix du contenu et de la structure de cette rencontre. D'ailleurs, nous sommes tous redevables au comité dans son entier de s'être si bien acquitté de son mandat.

La Commission se réjouit de pouvoir compter sur les services du D^r Omond Solandt comme conseiller principal. Je suis persuadé que la plupart d'entre vous connaissez le cheminement de sa brillante carrière au gouvernement, dans l'industrie et dans les services publics, tant au Canada qu'à l'étranger. Comme il a accepté de jouer le rôle astreignant de président général de la Conférence, je lui laisse maintenant le soin de vous expliquer de quelle façon nous allons aborder les diverses séances et quelles sont nos attentes au bout de ces trois jours.

C'est donc avec un grand plaisir tempéré uniquement par la fièvre de l'attente que je déclare ouverte la Conférence sur la sécurité au large de la côte est du Canada et que j'invite le D^r Solandt à en prendre en mains les destinées.

D^r O.M. Solandt
Président de la Conférence

PRÉSENTATION DE LA CONFÉRENCE

À ce stade de la Conférence, je me contenterai d'amplifier quelque peu certains des points soulevés par l'honorable juge en chef, M. Hickman, et de vous présenter notre conférencier d'ouverture pour enfin confier la rencontre aux bons soins de monsieur le doyen, Ross Peters.

L'honorable juge en chef vous a parlé de l'importance de cette conférence vue sous l'angle de l'information à recueillir pour la rédaction du rapport prévu aux termes de la partie deux du mandat. La planification de la structure et du contenu de la Conférence n'a pas été sans maux de tête pour le Comité; il lui a fallu être impitoyablement sélectif pour la faire tenir en trois jours.

La Conférence constitue le point culminant d'un processus de collecte d'information relativement complexe. Tout d'abord, nous avons commandé une série de 24 documents de travail qui devaient faire le point des connaissances sur chacun des aspects de la sécurité dans l'exploration et l'exploitation du pétrole offshore. Après étude de ces documents nous en sommes arrivés à cerner quatre domaines qui vraisemblablement allaient présenter les principaux problèmes dans l'avenir. Ils constituent les sujets des séances de la Conférence:

- l'environnement et la conception
- l'interaction de l'homme et de la machine
- les situations d'urgence
- la réglementation

À chaque séance, il y aura des exposés de présentation qui seront suivis des commentaires de quelques analystes choisis puis d'une discussion générale. Nous espérons que vous ne déborderez pas de vos sujets, sauf si vous tenez vraiment à souligner des points très importants qui selon vous ont été oubliés. Efforcez-vous d'être concis. Comme le juge en chef le mentionnait, le but de la Conférence est de permettre aux commissaires de connaître vos points de vue. Malheureusement, il y a fort à parier qu'au cours d'une conférence de trois jours, avec un programme aussi chargé, certaines choses importantes seront passées sous silence. Je vous incite donc fortement à les présenter, soit en personne soit par écrit, aux audiences que tiendra la Commission à compter d'octobre pour remplir les obligations qui sont inscrites dans la partie deux de son mandat.

C'est au sein même de la Commission royale qu'est née l'idée nouvelle de tenir une conférence comme principal moyen de recueillir des données pour le rapport prévu dans le deuxième volet de l'enquête. La Commission était d'avis que

tous les principaux intervenants de la scène de l'offshore devaient participer à la planification de la Conférence. Un comité du programme de la Conférence a donc été formé avec, à sa tête, l'honorable Gordon A. Winter et, comme membres, messieurs les commissaires Jan Furst et M. O. Morgan. Le gouvernement fédéral est représenté par M. A.E. Collin, sous-ministre associé au ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources; le gouvernement de Terre-Neuve par M. John Fitzgerald, directeur de la Direction générale du pétrole de Terre-Neuve et du Labrador; l'industrie par M. Ken Oakley, directeur régional de la Division des exploitants offshore de l'Association pétrolière du Canada; et le monde universitaire par le M. G.R. Peters, doyen de la faculté du génie et des sciences appliquées de l'Université Memorial de Terre-Neuve qui vous sera présenté sous peu comme vice-président de la Conférence.

Trois membres du personnel de la Commission sont également membres du comité. Il s'agit de M. David Grenville, secrétaire de la Commission et notre «pompiers de service» si vous me permettez l'expression; M. Bevin LeDrew, directeur des études qui a commandé et colligé tous les documents de travail et qui, avec son personnel, fera office de rapporteur pour toutes les séances; M. Neil Penney, coordonnateur de la Conférence et, enfin, votre humble serviteur.

À mesure que le programme prenait forme, il est apparu au comité qu'il fallait quelqu'un pour amorcer les délibérations par un large survol des aspects à explorer. Cette personne devait avoir une expérience longue et diversifiée dans l'industrie du pétrole comprenant, de préférence, une expérience pratique de l'exploitation en mer dans les pires conditions environnementales. Comme nous recherchions la crème des experts dans un domaine foncièrement international, nous savions d'avance que peu de Canadiens figureraient parmi les candidats possibles. Pourtant nous souhaitions tous pouvoir mettre la main sur un Canadien qui par ailleurs satisfierait à toutes les autres exigences. Le Comité s'estime donc doublement chanceux d'avoir trouvé une personne qui réponde entièrement à ses critères exigeants et qui soit de surcroît de nationalité canadienne. M. Gordon Harrison réunit d'éminentes qualifications pour nous parler des «Perspectives de la sécurité» et, avec ses remarques, pour donner le coup d'envoi à la Conférence et lui tracer un itinéraire qui, à n'en point douter, se révélera très riche en découvertes et en enseignements de toutes sortes.

Gordon R. Harrison
Ancien président
Canadian Marine Drilling Limited

LES PERSPECTIVES DE LA SÉCURITÉ

Dans la société d'aujourd'hui, la sécurité est une question sérieuse et je considère comme un privilège de pouvoir participer à cette conférence sur la sécurité des activités de forage offshore sur la côte est du Canada.

Nous sommes réunis ici en raison du tragique accident survenu à l'*Ocean Ranger*. Plusieurs enquêtes officielles ont déjà été faites qui ont attribué cet accident à des défaillances techniques dans le système de contrôle des ballasts, à l'incompétence du personnel chargé du ballastage et à des erreurs de conception des puits aux chaînes et des coques inférieures de l'installation. Je crois qu'il faut être très prudent lorsqu'il s'agit de déterminer des causes. Pour moi, ces facteurs que l'on donne pour des causes ne sont guère que les maillons d'une chaîne d'événements à l'issue desquels l'installation de forage a chaviré et sombré. Ils ne constituent pas plus la vraie cause de l'accident que la perte de flottabilité qui, à la fin, a permis à la force de gravité d'entraîner l'installation vers le fond de la mer.

Il nous faut examiner la cause première, celle qui a déclenché les événements. Il nous faut comprendre la nature des conditions présentes dans l'industrie du forage sur la côte est du Canada qui peuvent se solder par la perte d'une installation de forage de classe internationale et de la totalité de son équipage. Il nous faut aussi nous demander si nous n'allons pas au-devant d'une nouvelle catastrophe en poursuivant ce genre d'activité. Si c'est le cas, nous avons intérêt à prendre des mesures.

La Commission royale a annoncé qu'elle abordait une nouvelle phase de son mandat au cours de laquelle elle examinera de grandes questions pour ensuite formuler des recommandations eu égard à l'adoption d'une politique publique sur la sécurité des activités de forage en mer dans l'est du Canada. Au cours de son enquête, la Commission entendra toute une gamme de points de vue et de jugements sur les questions de sécurité. Avant d'utiliser cette matière, la Commission fait savoir qu'elle souhaite avoir des certitudes quant à la justesse et à la crédibilité de ce qu'elle entendra. Aussi sommes-nous invités, au cours de la présente conférence, non seulement à identifier et à examiner de façon critique les éléments relatifs à la sécurité, mais aussi à les soumettre à l'analyse et à la discussion. La Commission a invité - et c'est une chance pour nous - un groupe prestigieux de spécialistes étrangers qui nous feront partager leurs connaissances éclairées sur les points au programme de la Conférence. Je suis d'avis que, malgré le calibre des personnes réunies ici, il sera difficile de faire oeuvre utile dans la démarche que nous entreprenons à l'égard de la sécurité offshore. Ce à quoi nous nous attaquons, c'est au besoin d'une nouvelle orientation de la gestion des grandes entreprises de cette nature. Cette orientation nouvelle ne saurait survenir que par l'effet

d'un changement du présent ordre des choses dans la société. Il n'existe pas de tâche plus difficile.

Je dois dire que je suis encouragé par l'atmosphère créée ici par la Commission pour examiner les questions se rattachant aux risques et à la sécurité des activités de forage offshore. Nos invitations nous demandent de libérer notre pensée, d'avancer des idées nouvelles et de contester les faits et les points de vue qu'avancent les uns et les autres. J'ajoute qu'il faudra aussi contester la sagesse conventionnelle tant du secteur industriel que du gouvernement. Si nous faisons tout cela, si nous agissons avec franchise et audace, nous pouvons espérer ne pas décevoir nos hôtes. Il sera instructif pour tous d'examiner les questions de sécurité qui intéressent d'autres secteurs de la société et de voir ce qu'on peut en tirer qui soit applicable au secteur du forage en mer. Certes, il faudra prendre du recul et voir autre chose que les faiblesses particulières de l'*Ocean Ranger* pour tenter de percevoir, dans une perspective élargie, une caractéristique commune à tous les incidents d'origine humaine de cette amplitude. La question, je crois, doit se poser comme suit: y a-t-il, dans la façon dont nous accomplissons les choses dans la société, un vice de base qui serait à l'origine de ces événements coûteux et tragiques?

Les perspectives de la sécurité dans notre société ne sont pas réjouissantes. Faisons abstraction, si c'est possible, de la menace toujours présente de l'holocauste nucléaire et constatons que nous sommes sans cesse confrontés à la possibilité de tragédies de l'ampleur de celle qui a frappé l'*Ocean Ranger*. En règle générale, ces événements peuvent se produire indistinctement à terre ou en mer. Beaucoup se rappelleront certaines tragédies qui ont fait la manchette: le chavirement de l'*Alexander Kielland* en 1980, qui a entraîné la mort de 123 personnes; l'effondrement des passerelles dans le hall bondé de l'hôtel Hyatt de Kansas City, en 1981, qui s'est soldé par la mort de 114 personnes; l'attentat contre la caserne des «marines» à Beyrouth, au Liban, en 1983, qui a tué 241 personnes; et, plus récemment, le naufrage du navire de forage *Java Sea*, qui a entraîné la mort de 81 personnes. Mais il suffit de consulter quelques ouvrages pour constater l'extraordinaire fréquence d'accidents moins marquants qui surviennent avec régularité dans les immeubles à bureaux, dans les hôtels, dans les auditoriums, sur les ponts, dans les stades, dans les trains, dans les mines et, bien sûr, sur les structures offshore. Il nous faut repartir sur des bases entièrement nouvelles. La constante répétition des incidents proclame que nous sommes vulnérables et rien n'indique que des changements soient en cours pour nous mettre tant soit peu à l'abri. Les remises en question qui suivent chaque incident majeur peuvent contribuer à réduire les risques de réédition de l'ensemble particulier de circonstances qui l'ont provoqué, mais jamais les enquêtes ne font ressortir le commun dénominateur de toutes les tragédies.

Je dois aujourd'hui vous entretenir des «perspectives de la sécurité», mission que j'interprète comme étant une tentative de ma part de trouver et d'expliquer la nature de ce dénominateur commun. Plus précisément, on me demande de réfléchir sur les rapports entre la sécurité et les considérations d'ordre technique. Il existe naturellement un rapport direct et vital entre l'intégrité ultime d'un système d'exploitation et des paramètres techniques comme l'état des connaissances sur les facteurs environnementaux, la sélection des critères de conception, le choix des facteurs de sécurité à intégrer au modèle, les qualifications des concepteurs, les modalités de mise à l'essai des matériaux et de l'inspection des travaux, la formulation de modalités d'utilisation, la formation professionnelle, et ainsi de suite. J'affirme que ces facteurs, considérés individuellement, nous sommes déjà en mesure de les maîtriser. De nos jours, il est rare qu'on puisse attribuer les grandes tragédies à un manque de connaissances ou aux lacunes de la technologie. Pour en revenir au cas de l'*Ocean Ranger*, ce n'est pas que nous ayons joué les apprentis-sorciers. Nous possédons les connaissances et les outils nécessaires pour évi-

ter ce genre de dérapage. La source de notre problème est très simple: nous mettons le paquet sur la réglementation et la bureaucratie et ne laissons à la créativité et au contrôle de la gestion que la portion congrue, ce qui dans une société constitue une grave source de déséquilibre, à la façon de dommages causés à l'oreille moyenne.

À lire les documents officiels de l'enquête sur les circonstances qui ont entouré la perte de l'*Ocean Ranger* et de la totalité de son équipage, on a à tout bout de champ l'impression qu'il y a quelque chose qui cloche. Je fais allusion à deux éléments plutôt bizarres. Premièrement, l'absence apparente d'un détenteur unique de l'imputabilité de gestion pour la sécurité des vies humaines dans le cadre de l'exploitation de l'*Ocean Ranger* et de ses imposants et nombreux systèmes de soutien. Deuxièmement, le peu d'importance accordée à cette absence dans les documents mêmes de l'enquête.

L'*Ocean Ranger* appartenait à l'ODECO, société américaine, et battait pavillon américain, de sorte qu'elle était régie par les lois et les règlements de la *U.S. Coast Guard*. Elle avait été conçue par des ingénieurs américains, construite au Japon et classifiée par l'*American Bureau of Shipping*. Elle était en activité dans des eaux internationales où elle était régie par les conventions relatives à la sécurité de l'Organisation maritime internationale, mais elle était louée aux termes de permis de forage d'exploration délivrés à Mobil Oil, de sorte qu'elle était soumise à l'application de règlements administrés par l'APGTC et d'autres organismes du gouvernement du Canada. Ses principaux systèmes de soutien, y compris les navires de service, les navires devant intervenir en cas d'urgence, les hélicoptères et le soutien logistique à terre, étaient placés sous la direction de Mobil, qui confiait ces divers services par contrats à des tiers. En cas d'urgence, elle dépendait, pour la planification du recours à l'équipement de soutien à l'évacuation, de Mobil et des unités de recherche et de sauvetage du gouvernement. À bord de l'*Ocean Ranger*, les responsabilités de gestion et l'autorité étaient d'une certaine manière partagées par le chef de chantier de forage d'ODECO, le capitaine de marine d'ODECO et le contremaître de forage de Mobil. Le chef de chantier de forage d'ODECO et le contremaître de forage de Mobil relevaient d'organisations différentes à terre.

Avant toute autre chose, je tiens à dire que l'enchevêtrement de compétences dont je viens de faire état à propos de l'*Ocean Ranger* n'est pas exceptionnel. C'est plutôt la règle dans l'industrie du forage offshore. Tout de même, il est difficile de ne pas se dire que, lorsqu'on a commencé le forage sur les terres du Canada, il devait y avoir pas mal d'ambiguïté quant à l'entité qui détenait l'autorité dominante en matière de gestion et de réglementation, même pour les activités normales. Dans les opérations d'urgence, il y avait place pour une confusion plus grande encore. Et si, avant la mise en marche du forage, on voulait demander si les travaux s'accompliraient de façon sécuritaire, à qui fallait-il s'adresser? Y avait-il un ingénieur de profession capable de certifier que l'installation satisfaisait aux critères de conception d'importance vitale qui régissent la stabilité en flottaison et la robustesse de la structure et que les sous-systèmes présentaient une fiche impeccable sur les plans de la conception, de la construction, de la certification et du fonctionnement? Y avait-il un capitaine de marine capable d'affirmer avec certitude que l'installation était dotée de moyens d'abandon et de survie appropriés? Était-il en mesure de donner l'assurance que les équipages étaient préparés à faire face aux situations d'urgence? Ces équipages connaissaient-ils bien l'emploi et le fonctionnement des moyens d'abandon et avaient-ils fait des exercices d'évacuation complète? Y ont-ils démontré leur compétence et leur efficacité? Existait-il un plan d'urgence approprié, prévoyant que tous les services de soutien nécessaires et toutes les communications seraient placés sous un commandement unique? Y avait-il un cadre supérieur d'une société exploitante capable de certifier qu'il avait personnellement examiné le travail de l'ingénieur et qu'il connaissait parfaitement les critères d'ordre environnemental et les facteurs de sécurité d'importance vitale

pris en ligne de compte dans la conception du modèle? Était-il personnellement convaincu que l'ingénieur avait correctement effectué la vérification du modèle et déterminé que les sous-systèmes de l'installation étaient en bon état de fonctionnement et accompagnés de tous les permis nécessaires? De même, avait-il contrôlé le capitaine de marine et avait-il été satisfait de ses évaluations?

Autrement dit, est-ce qu'un cadre supérieur d'une société exploitante avait examiné à fond toutes les questions relatives à la sécurité de l'*Ocean Ranger* et acquis la conviction que l'installation et tous ses systèmes de soutien étaient sécuritaires et prêts à fonctionner, une conviction telle qu'il était prêt à le certifier? Voilà les questions qui, d'après moi, sont importantes. Mais ce ne sont pas celles qu'on pose. Je pense qu'il faudrait se préoccuper moins de l'observation des règlements du gouvernement et des codes des organismes de classification, et davantage de l'imputabilité absolue à l'égard de la sécurité. Il faudrait se préoccuper de savoir s'il y a une entité responsable unique qui a tout fait ce qu'il est possible de faire pour mettre chaque installation de forage et chaque système de soutien exploités en territoire canadien à l'abri des accidents et des pertes de vies.

L'incertitude quant au détenteur de l'imputabilité et au détenteur de la responsabilité est le dénominateur commun de toutes les grandes tragédies. Lorsque les 241 marines américains ont été massacrés dans leur sommeil dans une zone de guerre de Beyrouth, ils n'avaient pas de défenses suffisantes pour empêcher une voiture ordinaire bourrée d'explosifs d'atteindre leur caserne et de la détruire. On peut raisonnablement se demander à qui allaient la responsabilité et l'imputabilité de ce manque de vigilance. Il semble clair qu'il y avait incertitude quant à la nature - diplomatique ou militaire - de la mission. Par conséquent, il semble que ni le Département de la Défense, ni le Département d'État ne se soient vu attribuer nettement le commandement et l'imputabilité à l'égard de la sécurité de cet avant-poste occupé par des gens jeunes et vulnérables. Les conséquences de cet état de choses ont été tragiques.

Prenons un autre exemple. Le 17 juillet 1981, 1 500 personnes assistaient à une réception donnée au nouvel hôtel Hyatt Regency de Kansas City. Les gens dansaient dans le grand hall et sur deux passerelles qui enjambaient ce dernier. Soudain, les deux passerelles se sont effondrées, tuant 114 personnes et en blessant grièvement 216 autres. C'était le plus grave accident mettant en cause un bâtiment de toute l'histoire des États-Unis. Plus d'une douzaine d'enquêtes ont été faites, dont une par le *National Bureau of Standards*. La cause directe de l'accident a été facile à déterminer. Alors que la construction était déjà avancée, une modification a été apportée au plan suite à une conversation téléphonique entre un ingénieur-conseil et un ingénieur rattaché au fabricant d'acier. Après l'accident, l'examen du *Bureau of Standards* a révélé que la passerelle redessinée était à peine capable de supporter son propre poids. Les deux ingénieurs ont expliqué que chacun supposait, après la conversation téléphonique, qu'il incombait à l'autre de faire les calculs nécessaires; aucun ne les a faits.

La cause de ce déplorable état de choses est aussi évidente. Sept groupes principaux avaient un rôle à jouer dans la conception et dans la construction et tous ont dit ignorer qui était le détenteur de la responsabilité globale. L'architecte qui a dessiné le modèle original a eu peu à voir avec l'inspection des travaux alors que la construction progressait. Les documents judiciaires montrent que les travaux de construction ont été marqués par les méprises, les omissions et les problèmes de sécurité. Voici ce qu'avait à dire M. Edward Frang, chef de la division des structures du *National Bureau of Standards* (la citation, tirée du «*New York Times*», est traduite librement): «Quand un travail présente une série noire de problèmes de gestion, on peut s'attendre à des déboires aux proportions incalculables». Il ajoutait: «Il faut mettre au point des pratiques définissant clairement les diverses responsabilités à l'égard du processus de construction.»

Ces exemples, et bien d'autres que je pourrais citer, montrent que la sécu-

rité, si on y pense comme il faut, est un problème de gestion. S'il y a eu des défaillances au niveau de la sécurité, c'est qu'il y a eu des défaillances au niveau de la gestion. C'est là, je le crois fermement, le noeud du problème.

Écoutons Éric Hoffer, débardeur sans instruction devenu philosophe social: «On ne peut prédire l'avenir que si on possède le pouvoir de l'infléchir.» Voilà un axiome que je trouve éminemment pénétrant et important, et qui forme le noeud de ce dont nous traitons ici aujourd'hui. Permettez-moi d'illustrer mon affirmation par un exemple. Quand le président Kennedy a annoncé, en 1960, que les États-Unis enverraient un homme sur la lune avant la fin de la décennie, il n'affirmait pas là une chose qu'il aurait vue dans une boule de cristal. En fait, le président sentait intuitivement que ce projet constituait un défi exaltant qui enflammerait l'imagination des Américains et - la *National Academy of Sciences* l'en avait convaincu - qu'il était techniquement réalisable et qu'il aurait des retombées scientifiques et commerciales énormes. Il a alors confié la mission à la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. La NASA était le seul administrateur du programme et, forte de ses 12 000 ingénieurs, scientifiques et techniciens, elle a su réunir sous son autorité certaines des meilleures entreprises de technologie de pointe du pays. Rien n'a été laissé au hasard et, le 20 juillet 1969, le projet le mieux financé et le mieux administré de l'histoire du monde a abouti à l'atterrissage d'Apollo II à la surface de la lune. Dans toute cette entreprise, la NASA a conservé, au plan de la sécurité, un dossier exceptionnel. Oui, le président Kennedy a prédit l'avenir, mais il n'a pu le faire que parce qu'il possédait le pouvoir de l'infléchir. En outre, lorsqu'il a délégué son pouvoir, il l'a intelligemment confié à une administration unique.

«D'abord nous modelons nos structures, disait Winston Churchill, puis ce sont elles qui nous modèlent.» C'est exact. En matière de sécurité, notre société est modelée par une structure complexe de règlements et de régulateurs qui s'est fixée au cours du siècle dernier. Généralement parlant, ce complexe de réglementation s'est constitué d'une manière telle qu'il décourage la responsabilité de gestion à l'égard de la sécurité, ou qu'il lui est au mieux indifférent. En effet, si incompréhensible que cela puisse paraître, nous ne cherchons plus à savoir à qui incombent la responsabilité, l'autorité et l'imputabilité. Notre système, grosso modo, laisse ce débat aux juristes et aux tribunaux.

C'est peut-être en Écosse, il y a une centaine d'années, que se trouve l'origine de la curieuse structure en place aujourd'hui. En 1879, le pont du fleuve Tay, lien ferroviaire vital avec la ville de Dundee, en Écosse, s'est écroulé sous les assauts combinés du poids d'un train de passagers et de vents soufflant en tempête. Le pont avait été ouvert 18 mois plus tôt. C'était le pont le plus long et, pensait-on, le meilleur du monde, qui reliait les deux rives du plus gros cours d'eau de Grande-Bretagne. C'était aussi le rêve et, pour un bref moment, le couronnement de la carrière de Sir Thomas Bouch, l'un des grands ingénieurs-constructeurs de la Belle Époque de la construction des ponts.

L'accident n'a laissé aucun survivant. Soixante-quinze hommes, femmes et enfants ont péri. Sur le plan des pertes en vies humaines, cette tragédie était d'une ampleur à peu près égale à celle mettant en cause l'*Ocean Ranger* ou d'autres accidents survenus à des installations de forage offshore, comme l'*Alexander Kiel-land* et le *Java Sea*. Il semble que nous ayons une propension aux catastrophes d'origine humaine de cette ampleur depuis un certain temps déjà. La commission d'enquête mise sur pied pour examiner l'affaire a fait part de ses constatations au Parlement britannique. Elle concluait que les lacunes qui marquaient la conception, la construction et l'entretien du pont le condamnaient à s'effondrer tôt ou tard. Fait à noter, la commission d'enquête est allée au-delà de la question des causes et s'est prononcée sur celle du blâme. Elle affirmait que Sir Thomas Bouch, l'ingénieur-constructeur, était à blâmer au premier chef et précisait son jugement comme suit:

- il était entièrement responsable des défauts de conception;
- il était principalement responsable des défauts de construction;
- il était principalement, sinon entièrement, responsable des défauts d'entretien.

Sir Thomas Bouch, poursuivait le rapport, ne peut échapper à ses responsabilités. Et en effet, il ne le fit pas. Plusieurs mois auparavant, la Reine l'avait fait chevalier pour ses succès de constructeur de pont. Totalement discrédité en tant qu'ingénieur, il se retira du monde pour fuir la clameur qui exigeait des poursuites au criminel. Il mourût quatre mois après avoir entendu le prononcé du blâme de la commission d'enquête.

J'évoque ces événements parce qu'il semble que la tragédie du pont du Tay soit le point de départ d'un processus qui nous a amené là où nous en sommes aujourd'hui. Plusieurs points méritent d'être soulignés.

L'accident est survenu à un moment de l'histoire où il était possible pour un professionnel de détenir la totalité du contrôle des aspects techniques. Il ne fait aucun doute que Sir Thomas Bouch était un vrai constructeur de ponts. Il avait le pouvoir de contrôler la conception et la qualité du produit fini, depuis la planche à dessin jusqu'au contrôle de la qualité des matériaux et de la main-d'oeuvre. Mais ses responsabilités allaient plus loin. Une fois achevée la construction, il restait détenteur de l'autorité à l'égard de l'entretien de la structure et du contrôle des charges placées sur cette dernière alors que le pont était ouvert à la circulation.

Aujourd'hui, un mandat professionnel de cette envergure dépasserait les rêves les plus délirants de M. Jerome Goldman, président de Friede and Goldman et l'un des grands concepteurs actuels d'installations mobiles de forage offshore de classe internationale. Voici quelques extraits d'un discours qu'a prononcé M. Goldman au symposium sur la sécurité de la vie offshore, qui s'est tenu en 1983 au *Scripps Institute of Oceanography*: «Quand les travaux de construction commencent, la conception cesse d'être la responsabilité du concepteur pour devenir celle d'autres personnes.» M. Goldman poursuit sur ce manque de continuité dans la chaîne des responsabilités techniques; de toute évidence, il entretient de grandes inquiétudes quant aux conséquences de cette incongruité. «Il n'existe pas, dit-il, de dénominateur commun pour juger de la qualité des installations de forage» ni pour «... établir et maintenir la qualité de l'installation une fois que celle-ci a quitté le chantier.» Il poursuit en disant que, les choses étant ce qu'elles sont, «... les sociétés de classification doivent supporter la responsabilité d'examiner la conception de l'installation et de maintenir la qualité de la construction dès la fabrication de la plate-forme au chantier naval et tout au long de sa vie opérationnelle.»

Malgré l'ampleur et la continuité de la responsabilité professionnelle qui prévalait à l'époque de la tragédie du pont du Tay, il manquait de toute évidence quelque chose de très important. Premièrement, bien que, jusqu'à l'enquête sur l'effondrement du pont du Tay, les ingénieurs eussent été les détenteurs d'une responsabilité professionnelle étendue, ils n'avaient pas une imputabilité égale devant la société pour les erreurs. Deuxièmement, l'imputabilité des sociétés était absolument inexistante. Ainsi, la *National British Railway* n'a guère été critiquée ni blâmée pour l'effondrement du pont et ses cadres ne l'ont pas été du tout.

Dès lors, la société aurait pu décider d'exiger l'instauration de l'imputabilité professionnelle et de l'imputabilité des entreprises. Malheureusement, elle a plutôt commencé à exiger l'observation de codes et de règlements. Cette mesure néfaste a eu les conséquences suivantes:

- La profession d'ingénieur, qui fut un temps considérée comme l'une des plus prestigieuses, a commencé à perdre de son prestige et n'a jamais repris le dessus depuis.
- Les gouvernements se sont mis à chercher à créer de la sécurité de toutes

pièces en exigeant l'observation de règlements plutôt qu'en établissant des exigences d'imputabilité.

- Enfin, la définition du détenteur de la responsabilité et du détenteur de l'imputabilité à l'égard de la sécurité dans les domaines de la conception, de l'exploitation et de l'entretien a commencé à se brouiller, au point qu'il est aujourd'hui virtuellement impossible de la fixer.

Nous devons, je crois, corriger cet état de choses déplorable que nous a légué le passé. Premièrement, nous devons rétablir la responsabilité professionnelle élargie et continue. Deuxièmement, la responsabilité ultime doit être confiée à un secteur de la société présentant deux caractéristiques particulières:

- il doit avoir déjà fait la preuve qu'il est capable de relever le défi;
- il doit jouer dans la société un rôle assorti d'enjeux élevés, c'est-à-dire qu'il doit retirer quelque chose de mesurable d'une réussite ou perdre beaucoup à la suite d'un échec.

Le choix évident, le seul choix à mon avis, c'est le secteur privé.

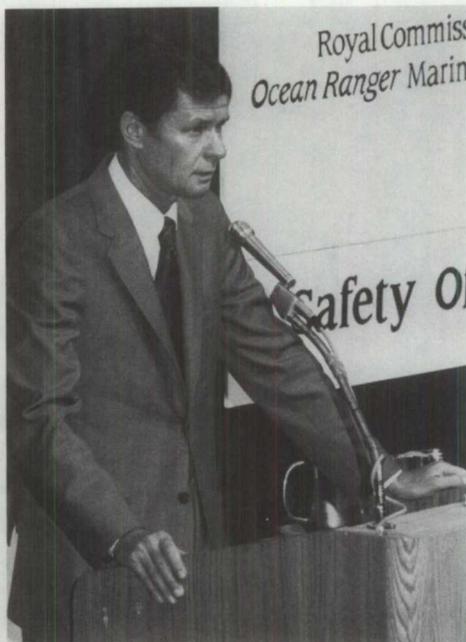
Dans son livre *Strategic Management*, Ignor Ansoff expose la difficulté croissante pour toute fonction de la société (la sécurité en est une) de se tenir à la hauteur de l'évolution rapide du monde d'aujourd'hui. Il cite de nombreuses études portant sur l'accélération des changements technologiques et sociaux. Ces études concluent toutes que le délai entre l'apparition d'une technologie nouvelle et son emploi diminue progressivement. Ce n'est pas tout: une fonction sociale donnée ne tire avantage du changement que si elle s'arrime à l'une des entreprises commerciales - elles aussi en évolution rapide - d'aujourd'hui. La sécurité, comme tout le reste dans notre société, est sur les rangs dans la quête du talent.

Pour Ansoff, les principaux éléments qui ont caractérisé l'environnement social et technologique pour en faire ce qu'il est devenu aujourd'hui ont été: 1) le caractère de nouveauté; 2) le coût croissant; 3) la rapidité; et 4) la difficulté de prévision. Considérant cet environnement, y a-t-il quelqu'un pour croire que les progrès requis pour assurer la sécurité dans la société doivent être le fait des sociétés de classification et des organismes de réglementation du gouvernement?

On trouve une réponse à cette question dans le rapport de 1980 du comité Burgoyne, lequel a étudié la question de la sécurité dans les activités offshore au Royaume-Uni. Les règlements, disait le rapport, «... sont lents à prendre forme et difficiles à changer; dans le contexte de technologies en évolution rapide, ils sont inappropriés. Ce à quoi il faut songer, pour les projets futurs, c'est à un mécanisme doué d'une plus grande souplesse, qui soit non seulement capable de réagir rapidement lorsque de nouveaux problèmes apparaissent - donc générateur d'améliorations - mais qui encourage aussi la prévoyance et attribue la responsabilité de décider de ce qui est sécuritaire à l'entité à laquelle elle revient, c'est-à-dire l'exploitant.»

À mon avis, la sécurité doit revendiquer sa juste part du dynamisme, de l'initiative, de la créativité et du succès des meilleurs au sein du secteur privé. Elle doit réclamer avec force d'occuper une place prépondérante dans les plans stratégiques de nos entreprises à succès et se battre pour l'obtenir. Dans son livre *Effective Management*, Peter Drucker fait observer que le cadre qui réussit cherche à ne s'en tenir qu'au nombre minimal de priorités et à limiter le plus possible la supervision qu'il doit exercer. La sécurité doit faire en sorte de s'insérer dans le mince espace ainsi ménagé. Pour atteindre les objectifs de sécurité qu'elle prise le plus, la société doit faire appel à l'énergie des cadres supérieurs des entreprises les mieux administrées. «J'ai appris que tout accomplissement était le fait d'un maniaque obsessionnel investi d'une mission» a dit Peter Drucker.

Résumons-nous. Aujourd'hui, je me suis permis de prétendre que la confu-



M. Harrison est titulaire d'un diplôme en génie mécanique de l'Université de la Colombie-Britannique obtenu en 1953. Il travaille depuis dans l'industrie pétrolière. Pour le compte de Mobil Oil Canada il est appelé, en 1968, à superviser le forage du premier puits à l'île de Sable et, en 1971, à établir le premier système de forage offshore de la Mobil Oil sur les Grands bancs. Il a également travaillé pendant quelques années pour la Dome Petroleum où, en 1976, comme président de la Canadian Marine Drilling, une filiale, il bâtit et exploite le premier système de forage offshore dans la mer de Beaufort. M. Harrison travaille actuellement à Houston; il s'occupe de forage exploratoire et de production sur le plateau continental des États-Unis.

sion quant à la responsabilité de gestion et l'apathie à l'égard de l'imputabilité de gestion constituent, s'agissant de la sécurité, les deux questions fondamentales avec lesquelles la Commission royale est aux prises. Je suis tout à fait conscient de l'utilité des codes de conception et de la valeur des réglementations. Je crois que les organismes de classification peuvent jouer un rôle moteur dans l'avancement des normes de conception et de construction des installations. Je m'inquiète de ce que certains entretiennent l'illusion que l'observation des règlements et le tampon d'approbation des organismes de classification soient des gages du caractère sécuritaire des installations de forage offshore. Je suis favorable au principe tendant à réaliser la sécurité à travers la dynamique de l'imputabilité de l'exploitant plutôt que par l'observation passive de normes de sécurité. Je suis favorable au principe de la continuité des responsabilités professionnelles, de la planche à dessin à l'exploitation en passant par le contrôle de la construction. Je suis favorable au principe d'un détenteur unique de l'autorité de gestion de tous les aspects des travaux de forage en mer, en retour d'une imputabilité sans ambiguïté à l'égard de la sécurité.

Quelles seraient les conséquences pour le forage au large de la côte est du Canada si les autorités gouvernementales adoptaient les principes que je viens d'énoncer? Premièrement, la responsabilité et l'imputabilité appartiendraient à une administration unique qui régirait la totalité des activités de conception et d'exploitation des systèmes de forage offshore, et ce, pour chaque permis d'exploration délivré par le gouvernement. Logiquement, ce pouvoir de gestion devrait incomber au titulaire du permis/à l'exploitant, qui serait imputable de toute atteinte à la sécurité.

Dans un premier temps, le dirigeant principal (ou l'agent d'exploitation le plus haut placé) de la compagnie certifierait qu'il a engagé un ingénieur professionnel et qu'il est entièrement satisfait de ses qualifications et de son expérience. On confierait à l'ingénieur professionnel la tâche de procéder à une vérification complète du modèle et de certifier que l'installation de forage respecte les critères de résistance aux conditions environnementales, sur le plan de la robustesse structurelle et de la stabilité en flottaison. En outre, il s'assurerait de la validité des sous-systèmes sur les plans de la conception, de la construction, des permis délivrés et du fonctionnement. De plus, le dirigeant principal certifierait qu'il a personnellement examiné et qu'il connaît bien les facteurs environnementaux d'importance vitale et les facteurs de sécurité pris en ligne de compte aux fins de la vérification de la conception. Il affirmerait que, compte tenu de son interrogation de l'ingénieur, il se trouve satisfait de la qualité de construction de l'installation, qu'il considère que cette dernière est en bon état de fonctionnement et que tous les permis nécessaires ont été délivrés. Le dirigeant principal donnerait l'assurance que les membres de l'équipage ont reçu la formation nécessaire et qu'ils sont prêts à faire face à toute situation d'urgence, qu'ils connaissent bien les systèmes d'abandon et qu'ils ont procédé à des exercices d'évacuation complète au cours desquels ils ont fait la preuve de leur compétence et de leur efficacité.

Dans ces conditions, le dirigeant principal serait devant un choix fatidique. Ou bien il pourrait affirmer avec certitude que l'installation est dotée de systèmes d'abandon et de survie appropriés, ou bien il devrait appeler un chat un chat et signaler que les systèmes d'abandon et de survie indiqués dans les codes et les règlements du gouvernement sont inutiles étant donné les conditions qui règnent au large de la côte est du Canada. De toute évidence, avec ce que l'on sait aujourd'hui, son choix se porterait sur la deuxième option. Dans cette logique, il établirait un calendrier de recherche, de mise au point et d'essai de mécanismes d'abandon et de survie convenant justement aux conditions qui règnent au large de la côte est du Canada. Devant tant de sincérité et un tel engagement, le gouvernement ne pourrait que délivrer le permis autorisant le démarrage des activités de forage, en sachant fort bien:

- que l'imputabilité à l'égard de la sécurité de la totalité des opérations autorisées par le permis d'exploration était parfaitement claire et que de lourdes peines seraient encourues en cas de défaut;
- que les sérieuses lacunes que présente la technologie des systèmes d'abandon et de survie de toutes les installations océaniques disparaîtraient rapidement.

Depuis vingt ans, l'industrie pétrolière en est venue à prévoir que le pétrole et le gaz seraient trouvés et exploités dans des eaux de plus en plus profondes et dans des environnements océaniques de plus en plus hostiles. Alors, employant systématiquement une technologie qui le dispute en ingéniosité à celle qui a caractérisé le programme spatial de la NASA, cette industrie a élargi son champ d'action, celui-ci passant d'eaux d'une profondeur de dix pieds à des eaux d'une profondeur de 5 000 pieds et de rives protégées au milieu océanique le plus dangereux du monde. Bref, c'est un secteur industriel qui a démontré la véracité de la fascinante thèse de Eric Hoffer, à savoir qu'avec le pouvoir d'infléchir les événements futurs, on peut prédire les événements futurs.

Ces réalisations de l'industrie pétrolière ont pu être accomplies grâce à des aptitudes de gestion qui peuvent s'appliquer aussi bien à un problème qu'à un autre. Une fois qu'on lui aura confié, sans ambiguïté, la tâche d'assurer à l'avenir la sécurité des opérations de forage au large de la côte est du Canada, l'industrie réagira avec une détermination implacable, et une fois qu'on lui aura remis les responsabilités professionnelles nécessaires à la poursuite de cet objectif, j'ai la certitude absolue que le talent créateur et le dynamisme des ingénieurs, des scientifiques et des architectes dont notre industrie s'est assuré les services démontreront encore une fois la validité de cet axiome à la fois simple et puissant que la nécessité est la mère de l'invention.



ENVIRONNEMENT ET CONCEPTION

INTRODUCTION

Les études relatives à l'environnement ont porté sur le milieu physique de la partie de la côte est où il se fait du forage en haute mer. On s'est surtout attaché à analyser la qualité des données disponibles ainsi que les modalités et les programmes actuels de collecte des données. Ont également été abordées les conditions rigoureuses et limitatives du milieu, ainsi que la façon de les détecter ou de les prédire.

Quant aux études sur les aspects de la conception, elles ont porté sur la conception proprement dite, la fabrication, la classification et la certification des structures offshore et de leurs accessoires. On en a également examiné les limites opérationnelles et les exigences sur le plan de l'entretien.

Cette séance technique a été présidée par M. R.A. Hemstock, ingénieur, qui justifie d'une carrière longue et exemplaire et qui est l'actuel président du Conseil canadien des ingénieurs. Titulaire d'une maîtrise ès sciences de l'Université de l'Alberta, M. Hemstock a été au service de l'Imperial Oil Ltd. de 1948 à 1977; dans ses dernières années à cet endroit, il a effectué des recherches sur l'évaluation des problèmes techniques qui accompagnent les travaux de mise en valeur de l'Arctique canadien. De 1978 à 1983, il a été gestionnaire de la division de l'environnement et directeur de Hardy Associates; à ce titre, il assumait au premier chef la responsabilité de fournir des services de consultation sur les questions environnementales à l'industrie de l'énergie. Actuellement président de R.A. Hemstock Engineering Services Ltd, M. Hemstock a été membre de divers comités consultatifs du Conseil national de recherches, il a représenté l'Association pétrolière du Canada au sein du comité consultatif de la recherche sur l'utilisation des terres de l'Arctique, il a représenté le Canada dans le cadre d'un échange technique avec l'U.R.S.S. et il a contribué à la création de l'Arctic Petroleum Operators Association, dont il est président sortant.



W.L. Ford
Océanographe

M. Ford est diplômé de l'Université de la Colombie-Britannique, de la Northwestern University et du Collège de la défense nationale. Il est également titulaire honorifique de l'Université du Nouveau-Brunswick et de l'Université Dalhousie. Au cours de sa longue carrière, il a occupé des postes chez Dupont, au Woods Hole Oceanographic Institute et au Conseil de recherches pour la défense. En 1965, il a été nommé directeur du Laboratoire océanographique de l'Atlantique de l'Institut Bedford, poste qu'il a occupé jusqu'à son départ à la retraite en 1978. Tout au long de sa carrière, M. Ford a représenté le Canada au sein de divers comités océanographiques internationaux; il est également membre du Comité consultatif de l'industrie océanique et du Comité consultatif de la recherche du C-CORE. Depuis qu'il est à la retraite, M. Ford est consultant en océanographie.

DOCUMENT B1

Facteurs environnementaux critiques au large de la côte est du Canada

L'objectif visé par la Commission royale dans la deuxième partie de son enquête est d'identifier des moyens pratiques d'améliorer la sécurité de nos opérations de forage en mer. À cette fin, un certain nombre d'études ont été demandées, six d'entre elles portant sur les aspects suivants de l'environnement physique: prévisions météorologiques, glaces, climatologie, océanographie, climat des vagues et fond marin (1, 2, 3, 4, 5 et 6). Les rapports de ces études ont été révisés par les collègues des auteurs, puis soumis à une critique rigoureuse lors d'un atelier récent (9) auquel participaient les auteurs, leurs collègues réviseurs et d'autres spécialistes de l'industrie, du monde de l'océanographie et de la météorologie et d'organismes de réglementation. Dans mon exposé, j'insiste sur les aspects qui, à mon avis, ont été mis en évidence par ce processus.

Le forage d'exploration en mer a commencé dans notre région en 1966; depuis, de nombreuses installations de forage de différents modèles utilisées dans une grande variété de conditions - dont certaines tout au long de l'hiver - ont foré quelque 200 trous. Pendant tout ce temps, il y a eu une catastrophe, le naufrage de l'*Ocean Ranger*, qui n'a pas été attribuée directement (7, 8) aux facteurs environnementaux, bien que ceux-ci aient eu un effet dévastateur une fois que les choses ont commencé à mal aller.

Malgré cette tragédie, l'impression globale qui se dégage est celle d'une industrie qui se préoccupe vraiment des éléments du milieu physique qui influent sur la sécurité. Mentionnons entre autres ses apports notables à l'acquisition de connaissances sur ces aspects.

Avant de commencer l'examen de questions environnementales particulières, je désire faire une remarque générale sur les divergences d'opinions concernant la pertinence, du point de vue de la sécurité, de nos connaissances en matière d'environnement. Ces opinions se partagent, à mon avis, entre deux écoles de pensée. Certains estiment que les connaissances et les services d'information actuels sont suffisants pour qu'on puisse explorer sans danger. Par conséquent, au strict plan de la sécurité, il n'y a pas vraiment lieu d'envisager de nouvelles initiatives par rapport aux facteurs environnementaux. Il n'en reste pas moins que de telles initiatives seraient souhaitables, ne serait-ce que pour améliorer le rendement. Les tenants de cette école ont ten-

dance à dissocier bonnes mesures de sécurité et saines considérations économiques. En revanche, aux yeux des défenseurs de l'autre école de pensée, qui dit bonnes mesures de sécurité dit bonnes affaires, surtout dans une perspective à long terme. Par exemple, il serait vraiment étonnant qu'une amélioration importante de la fiabilité des prévisions météorologiques - particulièrement des conditions rigoureuses - qui à la réduction des pertes de temps dans les opérations allierait un accroissement d'efficacité, ne contribuerait pas aussi à maintenir ou à améliorer la sécurité. La réduction du risque d'être pris au dépourvu par une détérioration soudaine des conditions météorologiques est sûrement un facteur qui joue en faveur de la sécurité.

Les prévisions des conditions météorologiques et de l'état de la mer (le sujet de la première des six études) font intimement partie de l'exploitation quotidienne des installations de forage, des ravitailleurs et des hélicoptères de soutien. Tous s'entendent pour dire qu'il faut améliorer la précision des prévisions, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter leur niveau de confiance.¹

Il ne sera pas facile d'améliorer de façon appréciable la précision des prévisions. Bien que toutes les installations de forage de notre secteur offshore fassent partie du réseau d'observation, les prévisions en temps réel des conditions météorologiques et de l'état de la mer dans les eaux au large de la côte est sont généralement beaucoup moins bonnes que les prévisions faites à partir de stations terrestres. Pour améliorer de façon appréciable la qualité des prévisions maritimes, il faudra améliorer grandement la base de données en temps réel, par exemple par l'addition de nombreux autres points d'observation en mer ou par l'utilisation accrue de la technologie des satellites. De plus, il y a le problème des phénomènes à moyenne échelle, comme les grains et les dépressions polaires, qui sont assez mineurs pour passer inaperçus dans le réseau d'observation à l'échelle synoptique mais qui peuvent générer des vents d'une force voisine de celle d'un ouragan. Enfin, on connaît mal la physique de ces phénomènes, ce qui nuit à l'élaboration de modèles de prévision utiles à moyenne échelle, même si on dispose de la base de données nécessaire.

Bien sûr, ce problème n'est pas propre à la région située au large de la côte est du Canada. On lui accorde beaucoup d'attention partout dans le monde. Au Canada, suite à un atelier de planification des recherches météorologiques à moyenne échelle tenu en janvier 1983, une réunion a eu lieu pour examiner la situation de la côte est, particulièrement des points de vue de l'utilisateur et du fournisseur. Par la suite, la planification a conduit à une demande de financement auprès du Bureau de recherche

et de développement sur l'énergie, pour l'étude des processus à moyenne échelle associés aux grosses tempêtes d'hiver de l'Atlantique. La demande a été fortement appuyée par des représentants des milieux industriel, universitaire et gouvernemental (15).

Les sociétés Mobil Oil et Petro-Canada, le Service de l'environnement atmosphérique (SEA) et le Laboratoire océanographique de l'Atlantique à l'Institut océanographique de Bedford ont entrepris ensemble l'hiver dernier un projet expérimental en vue d'évaluer la possibilité d'utiliser des bouées captives pour améliorer le réseau d'observation. Ces bouées ont été ancrées à trois sites, à raison d'une bouée par site, le long du flanc sud des Grands bancs. Tout au long de l'hiver, elles ont transmis au SEA, par satellite, la pression atmosphérique et la température à la surface de la mer. On effectue présentement une étude analytique à l'Université Dalhousie afin de déterminer si les mesures additionnelles de la pression améliorent de façon appréciable les systèmes d'observation et de prévision des conditions météorologiques dans la région des Grands bancs. Si c'est bien le cas, un bon pas aura été fait en vue d'améliorer la base de données offshore en temps réel et par suite la précision des prévisions à un coût raisonnable.

En plus d'améliorer le produit de base, on devrait améliorer la «présentation» et la «livraison» de ce produit en favorisant de meilleures relations entre le prévisionniste et le client, en améliorant les méthodes de vérification et en perfectionnant le personnel chargé de l'interprétation sur place. La mise en application rapide de ces mesures, à défaut d'une solution immédiate des problèmes sous-jacents de prévision des conditions météorologiques, devrait être bénéfique à court terme.

La deuxième étude porte sur les glaces. Mis ensemble, les icebergs et la banquise des eaux de l'est du Canada présentent des difficultés d'un type unique pour le forage d'exploration, et à plus forte raison pour la production. L'industrie a réussi à surmonter ces difficultés en mettant au point un système de gestion des glaces. Le but essentiel de ce système est la prévention des collisions. Dans les eaux envahies par les glaces, par exemple sur le plateau continental du Labrador, l'application de cette méthode de prévention des collisions restreint l'exploitation à la saison pendant laquelle les eaux sont libres de banquise et généralement à partir de bateaux de forage à positionnement dynamique qui peuvent quitter rapidement les lieux lorsqu'ils sont menacés par un iceberg. Plus au sud, dans la région d'Hibernia, des unités de forage semi-submersible sont à l'oeuvre toute l'année. Pour éloigner ces unités de façon ordonnée

devant la menace grandissante des glaces, il faut beaucoup plus de temps que pour un navire à positionnement dynamique. En gros, le système est basé essentiellement sur la détection et le pistage de toute masse de glace dans le voisinage et de l'établissement de zones d'alerte et de sécurité appropriées au type de plate-forme de forage utilisée. Par exemple, on commence à dégager les organes de forage et les ancres dès qu'un iceberg s'approche à moins de 40 km d'une plate-forme ancrée (2).

Dans la région d'Hibernia qui connaît une activité toute saison depuis quatre ou cinq ans ce n'est qu'au cours des deux dernières années que la glace a fait son apparition (2). Aussi, l'expérience de surveillance des glaces d'hiver est encore très limitée. Au cours de la dernière année, on a assisté à une amélioration importante qui consiste en l'établissement d'un système de surveillance coordonné (industrie et gouvernement) desservant un centre d'opérations commun et utilisant tous les moyens disponibles pour repérer les glaces, à savoir l'observation visuelle et radar par avions, hélicoptères et navires. L'industrie s'emploie encore activement à perfectionner des moyens de détection et de pistage des glaces de mer et des icebergs. On met l'accent sur l'amélioration des radars maritimes classiques et des radars d'imagerie aériens (9). De plus un projet au titre du Fonds renouvelable pour études environnementales est mené en 1984 pour la réalisation d'études sur le terrain relatives aux possibilités d'utilisation du radar à antenne synthétique et du radar à balayage latéral en vue de détecter les icebergs, les *bergy bits* et les bourguignons dans des conditions diverses (10).

La détection et le pistage constituent un problème particulièrement difficile à résoudre lorsque la visibilité est faible et que le temps est mauvais. À l'atelier (9), la société NORDCO a présenté quelques résultats de calculs récents sur les possibilités de détection des glaces par les radars maritimes classiques en fonction de l'état de la mer, en prenant comme cible une masse de glace de 20 m de longueur et de 5 m de hauteur, c'est-à-dire un gros *bergy bit*. Pour l'état de la mer 0-1, la probabilité de détection est évaluée à 90 % jusqu'à la distance d'environ 7 km. Lorsque la mer devient plus agitée, les échos de vagues augmentent, ce qui réduit la qualité de la détection à faible distance. Ainsi, pour l'état de la mer 4, la probabilité de détection entre 0 et 5 km est inférieure à 10 %. À 7 km, elle passe à 25 % et à plus grande distance, elle diminue rapidement. Pour l'état de la mer 6, les échos de vagues sont assez importants pour que la probabilité de détection devienne pour ainsi dire nulle à toute distance.

Lever (11) conclut dans un rapport

d'étude d'un modèle de comportement des glaces par forte mer que les masses de glace qui sont petites par rapport à la vague se déplacent comme des particules d'eau. Ainsi, des vitesses maximales à l'échelle réelle de 4,5 m/s sont possibles pour un *bergy bit* de 4 300 tonnes dans une vague de tempête de 14 m et 12 s. L'énergie cinétique du *bergy bit* serait égale à celle d'un iceberg de 300 000 tonnes se déplaçant à 1 noeud. Selon certains (9), bien que ces études d'impact soient très importantes au plan des systèmes de production, elles ne sont pas particulièrement pertinentes à la sécurité dans le forage d'exploration, étant donné qu'elles ne contribuent pas aux mesures de prévention des collisions. Cette opinion n'est pas partagée par tous. La probabilité qu'une masse de glace ne soit pas détectée par le réseau de surveillance dans des conditions qui pourraient conduire à une collision importante, bien qu'elle soit généralement considérée très faible, ne semble pas avoir été évaluée quantitativement. Cependant, Lever (9), en collaboration avec C-CORE, se propose d'évaluer la probabilité composée des collisions. Des études de ce genre devraient être un apport important à l'évaluation du niveau de sécurité offert par le système de gestion des glaces dans la région d'Hibernia.

On s'est intéressé à la question du givrage dans trois des études (1, 2 et 3) ainsi qu'à l'atelier (9). Le terme givrage englobe les accumulations sur les structures résultant de la formation de givre blanc ainsi que les embruns ou les précipitations qui se transforment en glace au contact. En se basant sur l'expérience d'exploitation qu'elle a acquise jusqu'à maintenant, l'industrie considère (9) qu'elle gère ses opérations de façon que le givrage ne réduise pas la sécurité des plates-formes de forage, des ravitailleurs ou des hélicoptères.

Des points de vue du prévisionniste et du climatologue, le givrage est perçu comme un problème d'une importance considérable pour la sécurité en mer. Les améliorations largement souhaitées au plan de la précision des prévisions, dont il a été question précédemment, s'appliquent certainement aux aspects particuliers des prévisions de givrage et par conséquent aux opérations que le givrage risque de gêner, par exemple les opérations de sauvetage aérien en mer et l'utilisation des hélicoptères. Les météorologues considèrent que les connaissances sur le givrage en mer sont très insuffisantes (2), (3) et que des études systématiques à long terme sont nécessaires. La base de données actuelle ne permet pas de décrire ou d'évaluer la probabilité d'apparition de phénomènes de givrage extrême. Par contre, dans nos études, nous n'avons trouvé aucun cas faisant mention d'un fort givrage pour les nombreuses plates-formes qui ont

été utilisées dans des endroits et dans des conditions sujettes au givrage. Bien qu'on puisse pour cette raison être porté à croire que les phénomènes de fort givrage sont rares, il est important de reconnaître qu'il n'existe actuellement aucune base scientifique permettant d'évaluer avec certitude la probabilité de leur apparition.

Les climatologues estiment qu'il n'y a pas suffisamment de documentation sur la plupart des aspects du climat maritime (3). La principale cause de cette lacune est l'absence générale de données de base relatives à tous les paramètres, particulièrement en ce qui concerne l'hiver et les eaux septentrionales. Même en ce qui a trait au vent - le paramètre le plus important - la base de données est insuffisante pour permettre de définir sa variabilité dans le temps et dans l'espace, les effets exercés par les structures sur le champ de vent ou les valeurs extrêmes. À l'atelier (9), on a remarqué que les différentes méthodes d'évaluation du vent de 100 ans à Hibernia donnaient des valeurs comprises entre une vitesse aussi faible que 60 noeuds et une aussi grande que 140 noeuds. Devant une telle incertitude, le concepteur ou le planificateur est probablement contraint à baser sa conception sur des valeurs excessives, sans être certain que cette façon de procéder améliore le moins la sécurité.

Au cours des 18 dernières années, l'industrie, en utilisant les données climatologiques disponibles, a réussi à mettre en marche des opérations dans une variété de conditions rigoureuses sans que ne se produise un seul accident grave attribuable directement à la mauvaise appréhension d'un facteur climatologique. On peut en conclure que du point de vue opérationnel il n'est pas nécessaire de perfectionner la climatologie strictement en vue d'améliorer la sécurité des opérations. Cette remarque est évidemment valable à court terme, mais qu'en est-il à long terme? Les améliorations dans ce domaine sont intrinsèquement un processus à long terme relié au perfectionnement de l'aspect spatial de la base de données mais surtout au perfectionnement de son aspect temporel, qu'on ne peut pas accélérer. L'expérience porte à croire que des améliorations seront apportées et utilisées dans l'industrie à de nombreuses fins, y compris le resserrement des normes de sécurité.

Quelques éclaircissements s'imposent au sujet de l'océanographie. Bien que le climat des vagues relève manifestement de cette science, il a fait l'objet d'une étude particulière parce qu'il constitue un facteur environnemental limitatif d'importance cruciale. Il est ressorti de l'étude océanographique - qui a porté sur l'océanographie physique en général à l'exclusion des vagues - que le domaine est suffisamment perfectionné pour garantir la sécurité du forage d'explo-

ration et de délimitation (4). Deux aspects sont cependant ressortis. Le premier concerne la prévision de trajectoire d'un iceberg donné sur une période allant jusqu'à quelques jours. On a réalisé un certain nombre d'essais en vue de faire des prévisions utiles, mais ils n'ont pas été très concluants. Au Laboratoire océanographique de l'Atlantique de l'IOB, on adopte présentement une nouvelle technique basée sur l'utilisation du courantomètre acoustique d'apparition récente qui permet de déterminer rapidement le champ de courant autour d'un iceberg (15). Par cette technique, on veut déterminer s'il existe une possibilité réelle dans un avenir prévisible de faire des prévisions de trajectoire assez précises pour être utilisables dans un système de gestion des glaces.

Le deuxième aspect - qui est ressorti nettement des études sur l'océanographie et le climat des vagues - concerne la nécessité de réunir quelques séries de valeurs du courant, du vent et des vagues mesurées simultanément sur les lieux de plates-formes soumises à diverses conditions environnementales. L'un des objectifs est d'établir une relation entre le courant d'une part et les vagues et le vent locaux d'autre part de façon à permettre la prévision des courants extrêmes, ce qui n'est pas possible actuellement. L'autre objectif est d'en arriver à mieux comprendre les interactions entre les vagues et le courant, lesquelles ont des incidences importantes tant pour les prévisions de l'état de la mer que pour les prévisions du climat des vagues.

Un comité mixte formé de représentants de l'industrie, des universités et du gouvernement (17) étudie de façon continue les questions de nature océanographique qui préoccupent l'industrie. Ce comité s'intéresse principalement aux aspects de l'océanographie physique des Grands bancs qui intéressent l'exploitation offshore.

Vues sous l'angle énergétique, les vagues sont le facteur environnemental le plus puissant dont il faut tenir compte dans les opérations en haute mer. Un aspect très important des renseignements concernant les vagues a déjà été traité dans le cadre de la prévision des conditions météorologiques, c'est-à-dire la prévision des vagues, mais je voudrais maintenant aborder des questions non résolues qui ressortissent à la climatologie des vagues. Dans l'étude sur le climat des vagues (5), il a été question des besoins des propriétaires ainsi que des organismes qui se consacrent à la conception, à la classification ou à la réglementation. Il est établi que ces organismes attendent des données valables sur le climat des vagues en général, y compris des analyses spectrales, et des évaluations fiables des hauteurs et périodes de vague extrêmes, ainsi que des hauteurs de crête. Ces attentes ne sont évidemment

pas reliées exclusivement à l'aspect sécurité.

Encore aujourd'hui notre base de données accuse de grandes lacunes. Sur ce plan, les informations dont nous disposons pour le plateau continental du Labrador et les eaux septentrionales sont carrément déficientes. La situation est nettement meilleure en ce qui concerne les eaux profondes des zones méridionales; il est généralement admis que les données relatives à Hibernia atteignent un degré de précision qui permet une estimation fiable de la récurrence de hauteur de vague sur 100 ans. Cependant, en ce qui concerne les eaux peu profondes dans lesquelles les effets de fond peuvent jouer un rôle important, par exemple autour de l'île de Sable, les connaissances actuelles laissent à désirer. On a encore beaucoup à apprendre sur la physique des trains d'ondes complexes se déplaçant en eaux peu profondes, auxquels s'ajoute souvent l'effet de forts courants, avant d'être en mesure de donner une description fiable de ce cas particulier de climat des vagues et de ses extrêmes.

La qualité et la précision des données environnementales, par exemple sur le climat des vagues, qu'exige la planification des systèmes de production doivent être supérieures à celles requises pour le forage d'exploration. Le climat des vagues dans les eaux peu profondes du site Venture en est un bon exemple, et la société Mobil effectue présentement des études pour appuyer la planification de la mise en valeur de ce champ (13). Comme avantage, toute amélioration obtenue au plan de la connaissance des phénomènes extrêmes dans le secteur permettra d'accroître la marge de sécurité dans les opérations d'exploration en cours.

Ces études visent à produire des résultats dans une période de quelques mois et on ne peut pas s'attendre à ce qu'elles permettent d'améliorer les connaissances sur la physique du comportement des vagues. Des scientifiques allemands, hollandais et britanniques ont connu récemment un certain succès dans la modélisation de la génération et de la propagation des vagues dans les eaux peu profondes de la mer du Nord (12), ce qui est révélateur de l'intérêt grandissant porté à la question. Il existe un besoin évident de recherche suivie à plus long terme en vue de résoudre ce problème complexe du point de vue scientifique, avec les aspects particuliers qu'il présente dans les eaux canadiennes. Étant donné la nature du problème, cette recherche devrait être entreprise conjointement par l'industrie, les universités et le gouvernement pour qu'il soit possible de profiter pleinement de l'évaluation indépendante et ouverte de la planification et de résultats de projet qu'offre cette façon de faire. Il existe des précédents

reconnus à cette approche de la recherche.

Du point de vue de l'exploitation, deux besoins concernant le climat des vagues ont été déterminés à l'atelier (9): obtenir des estimations plus fiables de la vague de 100 ans, pour bien établir le dégagement du pont, et réaliser des spectres de vagues qui serviront éventuellement dans l'analyse de la fatigue structurale des plates-formes. On s'intéresse dans ce cas à la région du spectre pour laquelle la fréquence d'impact des vagues sur la structure peut être étroitement liée à la fatigue.

D'après les conclusions de l'étude sur les données disponibles sur le fond marin (6), les levés géophysiques et la cartographie régionale ne fournissent pas à eux seuls assez de renseignements pour permettre de déterminer l'emplacement des opérations de forage, et des études géotechniques propres au site sont nécessaires. L'industrie reconnaît cette situation, et elle effectue couramment des levés propres au site.

Le principal élément qui ressort de cette étude (6) et des débats qui ont suivi (9) est l'échantillonnage par trous de sonde en tant qu'élément essentiel pour déterminer si un site convient à l'installation d'une plate-forme auto-élévatrice. Le défoncement est une cause importante de rupture dans les plates-formes auto-élévatrices (6). La probabilité de rupture des fondations des unités offshore, bien qu'elle soit faible, est environ 10 fois plus grande qu'à terre (6). On ne peut pas se fier uniquement aux techniques de levés géophysiques et géotechniques en surface pour vérifier s'il existe des conditions de défoncement possible (6). En effectuant en plus des analyses d'échantillons de trous de sonde, on peut faire une évaluation plus fiable. À l'heure actuelle, l'utilisation des trous de sonde est facultative dans les études visant à déterminer l'emplacement des plates-formes auto-élévatrices. La sécurité serait accrue si cette façon de procéder était rendue obligatoire.

En résumé, on n'a cerné aucune lacune évidente dans les connaissances relatives à notre environnement maritime qui puisse représenter un danger imminent pour les opérations offshore, pourvu que de bonnes mesures de sécurité soient appliquées. Cependant, il est évident que de nombreuses améliorations sont nécessaires. Prises globalement, ces améliorations, qui sont généralement mineures, permettront, par une gestion prudente, d'accroître la sécurité sur une grande échelle. La meilleure façon de réaliser des améliorations de façon économique et en temps opportun consisterait probablement à appliquer des programmes mixtes soutenus de recherche et développement. Récemment, un nombre encourageant d'ententes de collaboration ont été conclues. Voilà un moyen qui, davantage mis à contribution, contribuerait sûrement à

satisfaire les nouveaux besoins en recherche et développement sur l'environnement physique qui au fil des prochaines décennies naîtront de l'industrie offshore de l'est du Canada.

¹La portée de l'étude sur les prévisions météorologiques de Seaconsult, Limited (1) a été élargie afin d'englober l'utilisation des prévisions faite par les exploitants et ce qu'ils perçoivent comme étant leurs besoins. Comme le rapport sur ce travail n'est pas terminé, on n'en tient donc pas compte dans le présent exposé.

Bibliographie

- (1) Weather Forecasting Services for the Canadian Offshore, Seaconsult Limited, février 1984.
- (2) A Review of Ice Information for Offshore Eastern Canada, Nordco Limited, juin 1984.
- (3) Revue des progrès récents en matière de climatologie maritime de la côte est du Canada, par V.R. Swail et L.D. Mortsch, Centre climatique canadien, Service de l'environnement atmosphérique, 27 avril 1984.
- (4) Oceanographic Information for the Eastern Canadian Offshore, Adequacy for Exploratory Drilling, Seaconsult Limited, avril 1984.
- (5) An Assessment of the State of Knowledge of East Coast Offshore Wave Climatology, J.R. Wilson, Marine Environmental Data Service et W.F. Baird, W.F. Baird and Associates, juin 1984.
- (6) The Adequacy of Available Seabed Information as Input to Design Criteria and Operating Constraints for Eastern Canada Offshore Exploratory Drilling, Jacques, Whitford and Associates Limited, 31 janvier 1984.
- (7) Capsizing and Sinking of the U.S. Mobile Offshore Drilling Unit *Ocean Ranger* off the East Coast of Canada February 15, 1982, rapport d'accident maritime de la National Transportation Safety Board, 15 février 1983, Washington, D.C. Rapport n° NTSB-Mar-83-2.
- (8) Commandants' Action on the Marine Board of Investigation convened to investigate the circumstances surrounding the capsizing and sinking of the Mobile Offshore Drilling Unit (MODU) *Ocean Ranger*, O.N. 615641, in the Atlantic Ocean on 15 February 1982 with multiple loss of life, United States Coast Guard, 21 octobre 1983.
- (9) Actes de l'Eastern Canada Offshore Exploration and Physical Environment Workshop. 27-28 juin 1984, Saint-Jean (Terre-Neuve).
- (10) Fonds renouvelable pour l'étude de l'environnement, mis à jour, Vol. II (1), p. 7, 23 février 1984, Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada, Ottawa.
- (11) James Lever, «Wave Action on Icebergs and Bergy Bits», *Atlantic Energy News*, p. 15, mai 1984. Aussi, C-CORE, rapport n° 84-7.
- (12) Communication personnelle de W. Perrie, Laboratoire océanographique de l'Atlantique (IOB).
- (13) Venture Environmental Impact Statement Addendum, par Mobil Oil Canada Limited, mars 1983, Section 3.1.6, Study Programs. Communication personnelle, juillet 1984. La société Mobil confirme que son programme actuel sur le climat des vagues pour le site Venture est celui décrit dans l'annexe mentionnée ci-dessus.
- (14) SCMO 1983, «Atelier de planification de la recherche en météorologie à l'échelle moyenne», Société canadienne de météorologie et d'océanographie, Comité scientifique, rapport annuel.
- (15) Communication personnelle de J.A. Elliott, Laboratoire océanographique de l'Atlantique (IOB).
- (16) Communication personnelle de C.S. Mason, Laboratoire océanographique de l'Atlantique (IOB).
- (17) The Grand Banks Physical Oceanography Steering Group. Président: J. Buckley, Pétro-Canada; membres: J. Benoit, Mobil Canada, C. Garret, Université Dalhousie, A. Hay, Université Memorial, C. Mason et B. Petrie, Laboratoire océanographique de l'Atlantique (IOB).

Note: Les références bibliographiques 1 à 6 sont des rapports qui ont été présentés à la Commission royale sur le désastre marin de l'*Ocean Ranger*.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT B1

L. Draper
Océanographe
Institut des sciences océanographiques

M. Ford a bien résumé les facteurs environnementaux présents dans ces eaux et je crois que le commentaire le plus utile que je puisse formuler est de faire une mise en garde au sujet de la précision des prévisions de houle. Je suis aussi coupable que quiconque d'avoir laissé les ingénieurs entretenir l'idée que les prévisions de houle sont vraiment précises; il nous arrive de donner sans le vouloir cette impression.

Au sujet de la houle ou des vagues, je me pose un certain nombre de questions pour lesquelles je n'ai pas de réponse. La plus simple, peut-être, est la suivante: «Qu'entend-on par la crête d'une vague?» Cela peut paraître évident, mais c'est loin de l'être. La distance entre le milieu constitué à 100 % d'eau et celui à 99 % d'air se situe sans doute autour de deux mètres dans une grosse tempête. Alors, où se situe la crête? Qu'entend-on par la crête? Sans doute la hauteur apparente sur l'enregistreur se situe-t-elle dans cette fourchette de deux mètres, mais pour la situer avec précision, toutes les hypothèses sont bonnes. Ce qui est sûr, c'est qu'un important volume d'eau se déplace horizontalement au-dessus du niveau où l'on croit que se trouve la crête de la houle et ce, à la vitesse de 30 ou 40 noeuds. Alors je ne sais vraiment pas où se trouve la crête compte tenu de l'état de la mer à un moment donné.

Autre point que j'ignore: la répartition exacte des crêtes. N'ayez aucune inquiétude si j'emploie des expressions que vous connaissez mal, comme «distribution de Rayleigh»: ce sont les conclusions qui comptent. On s'entend tacitement pour penser que la hauteur de houle se répartit suivant le modèle de Rayleigh, ce qui est vrai dans la plupart des conditions que nous pouvons mesurer. Il n'est toutefois pas prouvé que le modèle s'applique aux situations extrêmes, alors que les éléments perdent beaucoup de leur caractère linéaire. En fait, il n'est valable, strictement parlant, que pour une étroite bande du spectre de houle ordinaire.

Une autre question se pose: «Jusqu'à quel point nos mesures sont-elles exactes?» Les instruments sont loin d'être parfaits. Même si l'étalonnage de l'instrument frise la perfection pour l'ensemble de la gamme de fréquences, rien ne garantit que tous les enregistreurs réagissent instantanément et exactement au profil de houle. Nous considérons l'enregistrement de la houle comme étant l'évolution de la surface de l'eau suivie

à travers une ligne verticale en fonction du temps. La bouée à accéléromètre, sans doute l'enregistreur de houle le plus efficace au monde, se déplace suivant une trajectoire approchant du cercle, le diamètre de ce dernier étant égal à la hauteur de houle. Elle n'indique pas ce qui se passe en un point précis, mais ce qui se passe à tel endroit à tel moment, puis 50 pieds plus loin cinq secondes plus tard. Elle altère pour le moins les rapports de phases dans les enregistrements de houle.

Quelles sont les lois qui régissent la répartition des extrêmes de hauteurs de houle? Je dois aussi me méfier des statisticiens et ne pas toujours croire tout ce qu'ils disent. Ils préconisent d'appliquer aux données un truc appelé facteur de répartition FT-1. Supposons que nous disposions de 3 000 mesures de houle observables au cours d'une année, mesures faites à une station type. «Nous avons 3 000 échantillons; nous pouvons faire de belles prévisions.» de s'écrier les statisticiens. Si on les laisse faire, ils foncent et, pour le bateau-feu *Seven Stones*, toujours en activité au sud-ouest du Royaume-Uni, ils fournissent les estimations suivantes de la hauteur de la vague de 100 ans, c'est-à-dire qui a une période de retour de 100 ans:

Facteur FT-1 appliqué aux données du *Seven Stones*

Année	H_s , 100	Limites de confiance à 95 %	
1962-63	15,79	15,73	15,86
1968	13,87	13,82	13,93
1969	13,39	13,34	13,44
1971-72	16,52	16,45	16,58
1972-73	14,61	14,55	14,67
1973-74	16,33	16,26	16,39
1975-76	13,71	13,66	13,77
1976-77	16,09	16,03	16,16
1982	16,84	16,88	17,01

À la première année de mesures, la prévision s'établissait à 15,79 (dans la pratique, on peut laisser complètement tomber la deuxième décimale de la hauteur de houle significative). Il semble qu'on puisse être sûr à 95 % qu'elle se situait entre 15,73 et 15,86. C'est merveilleux! Nous y sommes arrivés. Toutefois, on peut avoir la prudence de se dire que les conditions climatiques peuvent varier quelque peu. Examinons donc une autre année. Il se trouve que les données de l'année suivante, pour le même endroit, donnent une hauteur de 13,87 mètres. C'est pas reposant. Nous avons passé en revue les données de neuf années distinctes et en aucun cas les limites de confiance à 95 % ne se sont chevauchées. Alors qu'est-ce qu'on fait maintenant? Il faut dire en toute honnêteté que le facteur

FT-1 n'est pas conçu pour ce genre de chose; ce pour quoi il est conçu, c'est l'examen des maximums particuliers à chaque année. Il repose sur une base plus solide assortie d'une certaine justification théorique et donne des limites de confiance plus larges. Mais nous avons là une présomption plus faible bien que plus plausible.

Si vous appliquez la technique pour laquelle le facteur FT-1 a été conçu aux données des neuf années d'observation du *Seven Stones*, la limite de confiance à 95 % se situe entre 90 et 132 % de la valeur que vous avez prévue. Si vous avez eu la chance de recueillir des données pour 20 années et avez prévu les mêmes valeurs, la limite de confiance à 95 % se situera alors entre 92 et 115 %. Il ne faut donc pas s'imaginer que l'on peut faire des prévisions au demi-mètre près. Ce n'est tout simplement pas le cas.

Abordons maintenant un autre problème pas commode: «Dans quelle mesure échantillonnons-nous bien les données sur la houle?» Nous avons une station avec bouée à accéléromètre qui se trouve dans des eaux comparables à celles d'Hibernia mais qui est située au large de la côte ouest des Hébrides extérieures, où les conditions sont en fait plus difficiles. Un scientifique néo-zélandais venu en visite, M. B.R. Stanton, a montré récemment que les accéléromètres ont tendance à perdre surtout les enregistrements des houles les plus fortes; la situation est pire par mauvais temps. Je n'apprends rien à personne en disant que ce qui se produit, si vous utilisez les techniques courantes et ne tenez aucun compte de ce fait, c'est qu'il y a sous-estimation des conditions extrêmes. M. Stanton a montré qu'il faudrait apparemment estimer à 16 % de plus les valeurs initialement prévues des conditions extrêmes dans cette région très difficile. Nous avons encore à apprendre aujourd'hui.

Pour ce qui est de la houle, les conditions qui règnent dans le secteur Hibernia se comparent grosso modo à celles de la partie nord de la mer du Nord; les périodes de houle y sont probablement un peu plus longues parce que le secteur Hibernia se trouve à la périphérie d'un océan, ce que n'est pas la mer du Nord. Certains problèmes sont inquantifiables mais je crois pouvoir hasarder des estimations fondées sur nos 20 ans d'expérience dans la mer du Nord. Je ne sais pas ce que cela représente en «années-plates-formes», mais ça doit faire beaucoup. Tout au long de ces 20 années, il ne s'est produit aucun incident catastrophique qui puisse être attribué à une méconnaissance des vagues. Je pourrais me mouiller et affirmer que les valeurs dérivées, celles que nous avons publiées, se trouvent probablement à plus ou moins

10 % de la valeur réelle - si une telle notion existe - pour les stations typiques. Même alors, il n'y a aucune indication de surestimation de la hauteur de houle. Mais nous n'en sommes pas au point où il n'y a pas d'accidents. Nous ne pouvons nous croiser les bras et être satisfaits de nous.

Il y a d'autres commentaires que je pourrais formuler sur la prévision *a posteriori*, car le but ultime est de pouvoir faire des prévisions *a posteriori* plutôt que de mesurer. Il n'est guère probable que cette technique devienne vraiment fiable dans les dix prochaines années.

J'aimerais tout de même revenir sur la question de la bouée enregistreuse Hermes, mentionnée dans le texte de M. Ford, appareil qui mesure, je crois, la pression atmosphérique et la température au ras de la mer. Tant qu'à lancer une bouée, je trouve dommage de ne pas prendre ce qu'on peut trouver de mieux. Au Royaume-Uni, nous avons un appareil DB-1 (Data Buoy 1) que nous avons utilisé pendant environ trois ans dans les Western Approaches et qui s'est comporté exceptionnellement bien; nous avons fait de très belles moissons de données. Nous en sommes maintenant à la phase suivante où nous utilisons des bouées un peu plus petites, appelées DB-2 et DB-3 et déployées au sud-ouest et au nord-ouest du Royaume-Uni. Elles coûtent un quart de million de livres chacune, mais le rendement en données est garanti; il y a une sévère pénalité financière si vous n'obtenez pas un rendement de 95 %. Tout est fait en double: les données sont transmises par METEOSAT toutes les heures et, par petites quantités, toutes les trois minutes par ARGOS (dans le deuxième cas, elles servent principalement à la détermination de la position, mais pas exclusivement). La qualité des données est contrôlée en fonction d'une norme acceptée par l'ISO et les données elles-mêmes peuvent être disponibles dans les minutes suivant la mesure, s'il vous faut une réponse instantanée. Investir un million de dollars pour mettre à l'eau deux bouées, dans le vent (ou dans la houle), ne me semble pas être un luxe si l'on considère la sécurité d'une structure de la taille de l'*Ocean Ranger*. Il faudrait, je crois, que quelqu'un examine la possibilité de dépenser un peu plus à cet égard.

Le message que je veux livrer, c'est qu'il nous faut vraiment procéder à une évaluation réfléchie de tout ce qui concerne l'environnement. Pour reprendre l'idée de M. Harrison, il ne faut pas se croiser les bras. Confiez à quelqu'un la responsabilité de veiller à ce que tous les aspects soient les plus sûrs possibles. En un mot, il faut absolument tout vérifier, sous tous les rapports, et n'allez pas croire que ce qui est écrit est vérité d'évangile. Rien n'est immuable.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT B1

W. Speller
Superviseur, Évaluation offshore
Affaires environnementales,
Petro-Canada

En tant que participant à la discussion sur les questions environnementales relatives à la sécurité des opérations d'exploration offshore, j'ai eu la chance d'examiner - puis d'y réagir - les six rapports portant sur cette question établis par la Commission. J'ai également eu l'occasion d'assister récemment à l'atelier sur l'exploration et l'environnement physique dans l'est du Canada.

Pour moi, ces activités ont été à la fois instructives et surprenantes. Surprenantes parce que certains organismes gouvernementaux et certains intervenants n'ont pas toujours saisi comment on utilise l'information d'ordre environnemental pour planifier les opérations de forage en mer ou pour soutenir les activités quotidiennes. L'atelier a été riche d'enseignements pour tous les participants et il a apporté à la Commission un point de vue équilibré sur les questions environnementales qui touchent la recherche d'hydrocarbures en mer.

En ce qui concerne le document établi par M. Ford, je suis d'accord avec son contenu, ses conclusions et le ton de ses diverses parties. Il constitue une revue juste et équilibrée des documents, de l'atelier sur l'environnement physique et des efforts de recherche et de développement en matière d'environnement physique actuellement en cours au Canada. D'après moi, l'analyse des questions environnementales que nous ferons aujourd'hui ne portera pas tant sur ce que nous devrions ou ne devrions pas faire que sur l'accent que nous devrions mettre dans un sens ou dans l'autre pour atteindre nos objectifs dans l'efficacité et l'efficience. Dans cet esprit, j'estime utile de résumer plusieurs points fondamentaux qui, je crois, nous aideront à préciser notre réflexion sur l'environnement physique offshore.

Premier point: tant par la qualité que par la quantité l'information environnementale dont nous disposons pour différents secteurs de la côte est du Canada - sans parler des autres régions offshore du Canada - pêche par manque d'uniformité; et il n'est pas dit que nous réussirons un jour à corriger cette lacune. Quand la recherche des ressources offshore ou les échanges commerciaux maritimes se font dans des régions nouvelles, l'information d'ordre environnemental utilisable est toujours réduite à sa plus simple expression. Seuls les progrès technologiques, comme les satellites météorologiques, et la recherche permettront d'accroître nos connaissances de base des

conditions ambiantes dans ces nouvelles régions.

Le véritable enjeu de notre débat est le degré de risque que nous sommes prêts à accepter et la quantité d'information sur le milieu jugée nécessaire pour atteindre le degré de sécurité que souhaite notre société. Dans cette optique, des normes pour la conception des navires et des modalités pour leur exploitation, des règlements et des lignes directrices pour la planification et la gestion des opérations ont été édictés par les gouvernements, tout cela pour contenir les risques dans les limites de l'acceptable.

Voilà qui m'amène à mon deuxième point. Dans le secteur offshore de la côte est où des installations de classe internationale sont en activité toute l'année, une attention vigilante est accordée aux facteurs environnementaux qui restreignent cette activité; on pense ici aux glaces et aux conditions atmosphériques rigoureuses qui multiplient les risques tant pour l'équipement que pour les opérations. Ces installations ainsi que les navires et les aéronefs qui les soutiennent sont choisis en fonction de leur modèle et des extrêmes de vent, de houle et de courant qu'ils sont appelés à subir. Comme il se doit, des estimations des extrêmes sur une période de cent ans sont fournies aux ingénieurs aux fins d'évaluation. Les intervalles de confiance sont aussi précisés, pour indiquer la qualité des données. Par l'expérience acquise au Canada, nous savons que les estimations des extrêmes environnementaux sont fiables; on s'y rapporte avec bonheur pour la sélection des installations offshore ainsi que pour la planification du soutien logistique que nécessite leur fonctionnement.

Pour mon troisième point, je dirai que les activités quotidiennes d'exploration offshore sont conçues pour être poursuivies avec l'information environnementale de base que commande leur soutien. De plus, des décisions de gestion sont prises au jour le jour pour atténuer les risques que pourraient courir les opérations si l'information environnementale était plus ou moins erronée ou si elle n'était pas reçue en temps opportun. À titre d'exemple, mentionnons les décisions portant sur l'évacuation de l'installation devant la menace d'un ouragan qui remonte le littoral est. Il faut 48 heures pour mettre à exécution une décision d'évacuer les équipages en poste sur les Grands bancs ou sur le plateau continental Scotian. De toute évidence, il faudra que notre capacité à prévoir la trajectoire des ouragans alors qu'ils se trouvent à la latitude des Carolines augmente dans des proportions énormes avant que les chefs d'installations de forage, prenant un risque calculé, soient en mesure d'estimer que la tempête ne

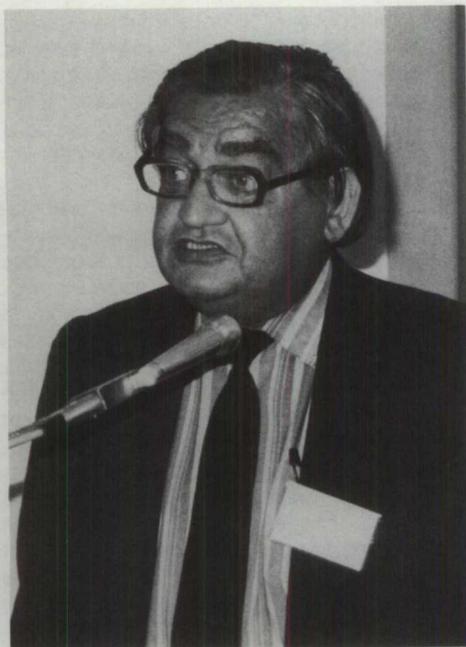
menace pas l'installation ni son équipage. Il en va de même pour le pistage des icebergs approchant des installations ancrées sur les Grands bancs. Je ne veux pas, par ces exemples, diminuer la nécessité ou la valeur de la R-D sur les problèmes environnementaux de cet ordre; toutefois, il faut bien évaluer, pour chaque proposition d'étude, la capacité de prévision nécessaire pour faire face au danger qui pèse sur les activités d'exploration offshore.

Pour ce qui est de nos efforts futurs pour améliorer l'information environnementale relative au secteur offshore, il est à la fois nécessaire et important de travailler ensemble à faire converger nos efforts de R-D et de gestion. Nous n'avons ni le temps ni les ressources voulues pour une réédition de certaines des initiatives isolées qui ont été prises dans le passé. En ce qui concerne l'orientation et le niveau de la R-D sur l'environnement physique maritime au Canada, il est évident que les efforts se sont intensifiés dans des proportions appréciables ces dernières années, surtout en conséquence des projets de mise en valeur des ressources pétrolières des Grands bancs et du plateau continental Scotian. Pour ce qui est de la R-D, la coordination entre l'industrie et le gouvernement s'est considérablement améliorée grâce au Fonds renouvelable pour l'étude de l'environnement, au Bureau de recherche et de développement sur l'énergie et à divers groupes d'étude gouvernementaux. Des spécialistes et des universités du Canada apportent aussi leur concours, soit directement dans le cadre de contrats, soit indirectement, par l'échange d'information et la formulation de conseils. Nos efforts de R-D sont de classe internationale; ils font appel aux plus récentes découvertes de la technologie mondiale et du traitement et de l'analyse de l'information. De plus, nos objectifs de recherche se traduisent par des plans à court, à moyen et à long terme qui ont tout l'appui de l'industrie pétrolière.

Je voudrais maintenant - et ce sera mon dernier point - attirer votre attention sur les problèmes que poseront la gestion, le traitement, l'analyse et la diffusion des données sur l'environnement physique que la R-D et les réseaux de collecte de données en préparation permettront de recueillir; ces problèmes se poseront à la fois au secteur industriel et au gouvernement. À l'heure actuelle, la gestion des données sur l'environnement offshore relève de divers organismes gouvernementaux. Certains d'entre eux s'évertuent à traiter les données collectées et à les rendre accessibles. Il en ira de même pour les systèmes que nous apporteront les années à venir. Les problèmes se posent d'ailleurs plutôt au niveau des politiques et du financement qu'à celui des connaissances techniques nécessaires à la ges-

tion des données. Si nous nous proposons effectivement de gérer comme il faut les données environnementales en temps réel du calibre que requerront les futures activités d'exploration et d'exploitation offshore, le moment est venu de coordonner nos efforts.

Plus tôt cette année, au cours de la conférence sur les questions océaniques, l'Association pétrolière du Canada a proposé que le secteur industriel et le gouvernement entreprennent de régler pour l'avenir la question de la diffusion et de la gestion des données sur l'environnement en mettant sur pied un groupe de travail qui serait chargé d'examiner les problèmes, nombreux et variés. Par ailleurs, toute solution aux problèmes nécessitera l'apport des experts-conseils en matière d'environnement. Je crois avoir mis en lumière les points que j'estime importants pour nos discussions et je suis heureux d'avoir eu l'occasion de le faire.



C.A. Bainbridge
Vérificateur principal
Lloyd's Register of Shipping

M. Bainbridge est titulaire d'une M.Sc. en conception et structure d'aéronefs et de 1956 à 1970 il a travaillé dans l'industrie aéronautique comme analyste de structures d'aéronefs. Depuis 1971, il est au service de la Lloyd's Register of Shipping où il est actuellement vérificateur principal et chef du département de génie océanique. À ce double titre il est chargé de l'analyse structurale, de l'approbation des plans, de la recherche et développement et de l'analyse informatique reliés à tous les types de structures offshore. M. Bainbridge a présenté à travers le monde, de nombreux exposés sur l'analyse structurale des structures offshore.

DOCUMENT B2

Incidence des facteurs environnementaux sur la conception

RÉSUMÉ

Le présent document trace les grandes lignes du rôle que jouent les facteurs environnementaux dans la conception des structures des plates-formes semi-submersibles. On y présente les résultats d'études de sensibilité portant sur des unités récentes et l'on y traite de l'incidence des normes canadiennes et étrangères.

HISTORIQUE

Les prédécesseurs des semi-submersibles actuelles étaient, au début des années 1950, des ossatures appuyées sur le fond marin. Pour tenir compte de la morphologie des fonds, bon nombre de ces structures comportaient des colonnes multiples et des flotteurs immergés indépendants. Les profondeurs d'eau étaient de l'ordre de 20 à 30 mètres. Une largeur et un franc-bord considérables ainsi qu'une structure réduite au niveau de la mer, dans la partie la plus exposée à l'action des vagues, caractérisaient ces installations. À ces profondeurs, les obturateurs anti-éruption se trouvaient juste en dessous du plancher de forage et au-dessus du niveau de la mer; ainsi, toutes ces unités comportaient un espace libre de forage sur toute la hauteur de la structure à l'une des extrémités. Le pont était solidaire de la structure de fond de type à treillis grâce à des colonnes dont plusieurs, généralement des colonnes d'angle, étaient de plus grand diamètre, ce qui augmentait la flottaison pendant le remorquage et au moment du déballastage pendant l'ancrage sur le site d'exploitation. Il y avait peu d'éléments de contreventement diagonaux, parfois aucun, et il est évident que bon nombre de ces structures n'auraient pu être remorquées que localement et qu'elles n'auraient pu supporter un transit océanique.

La première semi-submersible digne de ce nom, la *Bluewater I*, capable de forer en flottaison, est entrée en exploitation au début des années 1960. La majorité des plates-formes faisaient toujours appel à la technique de l'ancrage sur le fond marin. Posées sur ce dernier, elles pouvaient forer à des profondeurs de quelque 20 mètres et, en flottaison, à plus de 100 mètres. L'essor que prit l'exploration offshore, jusque là confinée à quelques régions particulières du globe, entraîna la construction d'un grand nombre de plates-formes semi-submersibles structu-

rellement différentes.

Vers la fin des années 1960 et au début des années 1970, le principal avantage des semi-submersibles (une grande plate-forme flottante stable) fut reconnu et on en appliqua le principe à d'autres opérations offshore n'ayant rien de commun avec le forage. L'une de ces premières unités a été la *Santa Fe Choctaw I*, bâtiment comprenant huit colonnes et deux pontons à éléments de contreventement multiples, construit en 1969 comme barge-grue mais bientôt transformé en barge de pose de pipelines.

L'exploration pétrolière était alors en passe de devenir une activité à l'échelle mondiale et, à la première nécessité qui consistait à se déplacer dans des eaux plus profondes, venaient s'ajouter le besoin d'augmenter les charges en pontée, l'obligation d'accroître la capacité d'emport de matériel en vrac, la nécessité de réduire le temps de transit, sans oublier l'exploitation dans des conditions environnementales plus variées et plus rudes.

À ce moment-là, divers pays concevaient et construisaient des semi-submersibles. Certains des premiers critères de conception, par exemple la stabilisation sur le fond, furent éliminés; d'autres comme le temps de transit et le coût y afférent prirent de l'importance. Ce changement se répercuta sur la configuration; on s'en tint généralement au principe des coques jumelles à plusieurs colonnes et entretoises de contreventement tubulaires. La diversité des configurations structurales des semi-submersibles a diminué; leur utilisation à de nombreuses fins spécifiques au large a augmenté, notamment pour le levage de charges lourdes, le battage de piles, la lutte contre l'incendie, le soutien de plongée et la pré-production. Pour réduire le temps de transfert et de déplacement sur les lieux de forage, certaines de ces unités sont automotrices, c'est-à-dire qu'elles transitent sans assistance; d'autres comprennent un système de positionnement dynamique pour un meilleur maintien de la position, une fois sur place.

INTRODUCTION

Par comparaison à ce que nous venons de décrire, le modèle final est le résultat d'un compromis fondé sur l'importance qu'accorde le concepteur aux différents critères opposés. Au cours des quelques dernières années, deux autres facteurs sont apparus: exploitation continue dans des conditions environnementales très difficiles, dans certains cas pendant toute la durée utile de la plate-forme, et application de nouvelles normes nationales touchant les critères de conception. Le présent docu-

ment traite des grandes lignes qui sont à la base de la conception des échantillons, et porte sur la sensibilité des contraintes internes critiques face à divers paramètres environnementaux, par exemple hauteurs, périodes, directions, etc. des vagues, et analyse la façon dont ces normes ou codes gouvernementaux peuvent influencer sur cette sensibilité.

MÉTHODE D'ANALYSE

Pour évaluer la sensibilité aux contraintes imposées par les facteurs environnementaux, on applique le système «maison» LOADS (référence 1). Ce système repose (figure 1) sur une technique d'analyse dynamique indirecte dans laquelle les vitesses d'un corps rigide (dont les effets structuraux sont minimales) sont omises. On tient pour acquis que la structure accélère dans les six degrés de liberté de mouvement à partir de la position de soulèvement, alors que le tirant en eau calme a été modifié par sa composante dynamique dans chaque condition de vague et angle de phase. Toutes les forces externes appliquées (vague, courant, vent, poids, poussée, amarrage) sont calculées de nouveau à ce tirant d'eau, et toutes les charges globales déséquilibrées restantes (c'est-à-dire les charges inertielles) sont équilibrées dans la structure en appliquant les accélérations linéaires et angulaires à la masse équivalente idéale de l'unité, en associant tant les effets dus à l'inertie que ceux dus à l'amortissement.

Un élément fondamental de ce système consiste à représenter la structure de la façon la plus précise possible non seulement aux fins du calcul des contraintes générales globales mais également, ce qui est probablement le plus important, aux fins du calcul des contraintes aux jonctions de tous les principaux éléments structuraux. La figure 2 présente un modèle global type; la figure 3 est un gros plan du noeud ou joint principal. Les types d'éléments finis dans ce modèle sont les suivants:

1. Les éléments de type «barre» «BAR»; éléments à six degrés de liberté supportant les charges de flexion, de torsion, de cisaillement et de poussée axiale, représentant tous les éléments de contreventement ainsi que les poutres-coques primaires avec leur largeur de plaque effective associée.
2. Les éléments de type «tige» «ROD»; éléments à deux degrés de liberté supportant les charges de torsion et de poussée axiale, représentant les poutres secondaires et les groupes de renfort sur les surfaces tôlées.
3. Les éléments de type «QDMEM 1»; éléments à membrane quadrilatéraux isoparamétriques à trois degrés de liberté soumis à des forces biaxiales seulement, des forces

directes à variation linéaire dans deux plans perpendiculaires, ainsi que des forces de cisaillement, représentant les surfaces tôlées des coques, des colonnes, de l'enceinte du pont supérieur et des cloisons.

4. Éléments de type «TRIMEM»; éléments à membrane triangulaires à trois degrés de liberté, soumis également à des forces biaxiales uniquement, des charges directes dans deux directions perpendiculaires, ainsi que des forces de cisaillement.

5. Éléments de type «cisaillement» «SHEAR»; éléments quadrilatéraux soumis à des forces de cisaillement biaxiales seulement, utilisés comme éléments de recouvrement, représentant la résistance au cisaillement du blindage interne et de la structure secondaire.

Le modèle présenté comporte 1 010 points nodaux, 405 éléments BAR, 1 490 éléments PLATE et 1420 éléments ROD. Aux fins de comparaison, un modèle basé sur les éléments BAR seulement est présenté à la figure 4.

RÉSISTANCE STATIQUE

On analyse trois conditions principales afin de déterminer la résistance statique globale, chacune étant fonction du tirant d'eau particulier:

1. Transit; au tirant d'eau normal de transit avec charge en pontée variable spécifiée et limitée aux conditions rencontrées en mer, à savoir hauteur des vagues allant de 8 à 12 mètres ou selon les spécifications du manuel d'exploitation, avant que l'unité ne soit submergée au tirant d'eau stabilisé par colonnes.
2. Exploitation; pendant la phase de forage et à un tirant d'eau maximum en semi-submersion, charges variables maximales, et charges de forage ou de levage, etc., pour toutes les conditions rencontrées en mer, jusqu'à une limite théorique optimale. Cette limite est déterminée par la capacité de l'unité de forer et d'utiliser ses grues ou par les mouvements excessifs limitant l'usage de la machinerie ou de l'équipement, ou encore par les restrictions relatives à l'espace libre entre le plancher de forage et la surface de la mer.

Lorsque la plate-forme est exploitée en pré-production, il faut tenir compte des charges en pontée variables pour divers tirants d'eau. On précise généralement que les hauteurs maximales des vagues peuvent être de l'ordre de 14 à 20 mètres.

3. Extrême; tirant intermédiaire pour une charge variable maximale admissible dans des conditions de mer allant de maximum en exploitation à extrême en théorie. Pour

usage international sans restrictions, on a proposé des hauteurs de vagues maximales pouvant aller jusqu'à 36 m.

Pour chacune des conditions globales susmentionnées, les facteurs environnementaux limitatifs spécifiés à l'étape de la conception, c'est-à-dire les hauteurs des vagues, le vent, le courant, etc., sont directement liés au tirant d'eau de l'unité. Sur une période de trois ans dans la mer du Nord, une plate-forme de forage semi-submersible a été au tirant d'eau de transit pendant 3,4 % du temps, au tirant opérationnel pendant 86,7 % du temps, et au tirant maximum de tempête pendant 9,9 % du temps. D'autre part, le navire de soutien polyvalent *Uncle John* sera en outre contraint de travailler à proximité d'une plate-forme sans pouvoir modifier soit sa position soit son cap. «L'*Uncle John* s'éloigne en général de son lieu d'exploitation lorsque la hauteur des vagues excède 5 m puis se met en attente en conservant le cap le plus favorable compte tenu de l'état de la mer.» (Référence 2).

La réglementation gouvernementale tend à insister sur les conditions extrêmes de tempête alors que les deux autres conditions, soit le transit et l'exploitation, sont tenues comme une mesure de l'efficacité de l'unité.

Outre les critères de conception globaux, il faut tenir compte de trois autres points en ce qui concerne la structure:

1. Facteurs indépendants de la charge. On peut ajouter à toute structure marine soudeée des plaques et des renforts d'une épaisseur et de dimensions minimales. Ces valeurs minimales sont spécifiées dans les règles des sociétés de classification et se fondent sur l'expérience. Il y a des valeurs minimales appropriées dans le cas de la structure principale (pontons, colonnes et coque supérieure) et de la structure secondaire, y compris les ossatures et les cloisons internes, etc. Pour ce qui est des surfaces externes de la structure en dessous de la ligne de flottaison théorique la plus élevée, lesquelles seraient protégées par un système cathodique approuvé, les échantillons minimaux susmentionnés sont augmentés en l'absence de système reconnu de protection contre la corrosion.

Les types d'acier sont choisis en fonction des secteurs particuliers de l'unité en tenant compte de l'importance de la structure, de la température ambiante et de l'épaisseur des plaques. Une distribution typique des différents aciers est présentée à la figure 5. On part du principe que la température nominale ou théorique d'exploitation est la température minimale quotidienne moyenne de l'air ambiant (Figure 6). Là où la température nominale de l'air est inférieure à -30°C, on peut devoir prendre en compte l'utilisation d'aciers spéciaux pour basses

températures aux points critiques de la structure.

2. Facteurs liés aux charges; «autres charges». Les sources incluent ce qui suit:

- Poids intrinsèque de la structure.
- Poids de la machinerie et de l'équipement d'armement y compris les embases, les fondations, etc.
- Charges statiques des approvisionnements (en vrac) liquides et secs, des provisions, de l'équipage et des effets personnels, des marchandises ou autres charges opérationnelles pouvant être transportées en pontée ou dans les réservoirs.
- Charges d'amarrage. L'unité doit être suffisamment solide pour résister à la pré-tension maximale ainsi qu'aux surcharges d'exploitation et de survie imposées dans toutes les amarres, et localement chaque composant des dispositifs de manoeuvre des amarres et des fondations doit pouvoir supporter des charges pouvant correspondre au point de rupture nominal d'une ligne.
- Charges de remorquage. Structure d'appoint locale jusqu'à la charge de rupture maximale du câble ou des bites de remorquage spécifiques.
- Charges de glace. Les charges statiques de la glace et de la neige sur le pont et sur les côtés de la structure supérieure, les forces exercées sur les colonnes et sur les coques inférieures et résultant de l'écrasement de la couche de glace et de l'impact des glaces flottantes.
- Charges/forces opérationnelles et de l'équipement y compris: moufle mixte de la tour de forage, table de rotation, pose et reprise des tubes, tensionneurs de câble de guidage et de colonne montante, grues de service, grue de transfert du bloc d'obturation, treuil de transfert de cloche de plongée, treuil principal, jauge de tige de forage sur câble, treuil de drague, tensionneurs de pose et de levage, bossoirs latéraux, rampe et élince fixées à l'arrière (pour la pose), grues lourdes et derricks, dispositif de contrôle incendie, charges de riser de production, passerelle de secours et d'accès aux quartiers d'habitation, flèche ou grue et canalisations de chargement des pétroliers, portique de mise à l'eau et de récupération des submersibles, etc.
- Poussée de l'appareil propulsif principal, forces de la tuyère de direction ou du gouvernail, forces des propulseurs en tunnels, forces des propulseurs orientables et du propulseur marin.

- Hélicoptères. Charges nominales maximales à l'atterrissage pour un type d'hélicoptère donné appliquées sur la surface d'atterrissage, charges de manoeuvre pour le reste de la surface et charges d'écrasement pour les poutres de soutien principales et les supports.
 - Charges des ravitailleurs, forces des navires amarrés lorsque l'amarrage à couple est permis. Généralement, pour le déchargement des navires de service, les dommages résultant des impacts sur les colonnes et sur les éléments de contreventement doivent être évalués, y compris leurs effets sur l'ensemble de la structure.
 - Charges en pontée autres que les chargements solidaires du pont, c'est-à-dire locaux de l'équipage, passages, aires de travail, ponts découverts, secteurs d'entreposage général, dont les normes minimales dans tous les secteurs où des chariots élévateurs à fourche ou des grues mobiles peuvent être utilisés.
 - Charges inertielles imposées sur toute la structure, la machinerie et l'armement, et charges statiques basées sur l'accélération des mouvements de l'unité par mer forte (obtenues à partir d'essais en bassin ou par une autre méthode de calcul).
 - Effets de la vibration résonante sur la structure de support de certaines machines, certains appareils propulsifs et équipements opérationnels.
 - Charges dynamiques imputables aux réactions des grues, aux charges roulantes, etc.
 - Charges de claquement et cycles des vibrations subséquentes auxquelles sont soumis les éléments de contreventement inférieurs horizontaux.
3. Facteurs liés à la pression. En général, d'importantes surfaces des coques inférieures et des colonnes sont surtout conçues en fonction des exigences locales en matière d'échantillonnage découlant des règles des sociétés de classification (référence 3) en raison de la pression hydrostatique du trop-plein des réservoirs, de la vague maximale ou de la ligne de flottaison après avarie. Les coques inférieures ne requièrent généralement pas d'augmentation de l'échantillonnage comparativement aux valeurs déterminées en fonction de la pression hydrostatique sauf localement, pour certains cas, dans l'axe de raccordement des colonnes.

De même, les colonnes de la plupart des plates-formes semi-submersibles récentes présentent de légères augmentations, de l'ordre de quelques millimètres, par rapport aux épaisseurs nominales établies en fonc-

tion de la pression hydrostatique. Cependant, cela dépend de la taille des colonnes comparée à la taille des autres éléments de l'installation; si les colonnes sont volumineuses comme celles des barges de pose *Semac* et *Choctaw*, on n'a pas à augmenter l'échantillonnage de base, tandis que si les colonnes sont petites une plus forte proportion de l'épaisseur requise devra être ajoutée en raison des contraintes globales de l'ossature.

- L'échantillonnage minimum de l'enceinte d'un réservoir dans n'importe quel lieu du navire est déterminé par référence à la pression maximale due à la tête de charge jusqu'au tuyau d'aération du trop-plein. La proportion de cette tête de charge est déterminée de la même façon que l'échantillonnage établi pour les enceintes de réservoirs dans les règles concernant les navires (référence 4).
- L'échantillonnage des enceintes externes des coques et des caissons/colonnes inférieures ne doit pas être moindre que celui de l'enceinte d'un réservoir, la hauteur de charge minimale n'étant pas inférieure à une pression hydrostatique équivalente, en raison des conditions rencontrées en mer, à la hauteur de crête nominale maximale. L'échantillonnage ne doit en aucun cas être inférieur à celui qui est requis dans le cas d'une cloison étanche, tel qu'il est déterminé ci-dessous.
- L'échantillonnage des cloisons étanches doit être déterminé en utilisant une hauteur de charge minimale au pire niveau du plan d'eau approprié après avarie.
- L'échantillonnage minimum pour toutes les parties de l'unité pouvant être submergées par les vagues est considéré comme étant les hauteurs réelles, le cas échéant, au-dessus de 6,0 m au moins.

Les critères de résistance ont été exposés ci-dessus avec une certaine précision afin de démontrer que la plus grande partie des échantillonnages d'une semi-submersible sont établis à partir des données fondamentales tirées des règles de classification. Il peut s'agir de critères généraux de résistance globale, de critères de conception de nature locale, ou encore de limites de contraintes particulières appliquées par chaque concepteur qui se fonde sur sa propre expérience en plus de faire appel aux normes établies.

Les analyses de fatigue et les méthodes d'analyses spectrales complexes servent à vérifier le premier échantillonnage de base

(référence 5). Les règlements nationaux sont également perçus de la même façon étant donné qu'ils donnent peu ou pas d'informations sur les échantillons de base acceptables, partant du principe que l'unité sera classifiée.

AMARRAGE

On accorde de plus en plus d'importance au calcul et à l'analyse des systèmes d'amarrage. Étant donné que les charges du système d'amarrage sont directement liées aux conditions environnementales et aux mouvements de l'installation (qui sont également fonction de l'état de la mer), il importe que les critères environnementaux théoriques de base soient déterminés de façon réaliste. Forcément, les conditions prévues, à l'étape des calculs, sont en fait un ensemble de critères environnementaux associés aux limites opérationnelles combinées à des facteurs de sécurité acceptables. Une sous-évaluation des conditions environnementales ou plus particulièrement de la façon dont elles se combinent, résulte en des mouvements excessifs, des facteurs de sécurité inadéquats et, possiblement, en une défaillance coûteuse, sans compter la perte générale de temps d'exploitation. D'autre part, un trop grand conservatisme résulte en un accroissement du poids et des coûts du fait de l'utilisation d'amarres plus grosses et plus longues, de treuils plus volumineux, etc., et peut-être aussi en une capacité réduite de charges en pontée. Deux conditions théoriques principales sont spécifiées:

1. Facteur de résistance selon le cycle de 50 ans de récurrence de tempête. On prévoit que la plate-forme restera sur place; cependant, l'unité de forage étant désaccouplée du fond marin, de grandes valeurs de déplacement orbital autour de l'axe du puits peuvent être tolérées. Les critères de calcul dans ce cas consistent seulement à réduire la tension maximale dans les lignes d'amarrage en conservant un facteur de sécurité minimum de 2,0 fondé sur la limite de rupture des amarres. La tension maximale des amarres est calculée pour des combinaisons colinéaires concurrentes de vents, de houles et de courants nominaux dans le cap le plus défavorable, en tenant compte des mouvements appropriés de l'unité et de la profondeur d'eau donnée. Les valeurs types dans la mer du Nord sont les suivantes: hauteur des vagues 16 m, période 14 secondes; hauteur maximale des vagues 30 m, période 19 secondes; courant 1,5 mètre/seconde, vitesse du vent 50 mètres/seconde.
2. Facteur d'exploitation maximale fondé sur la combinaison vitesse du vent, hauteur et période de la vague et courant, à une

profondeur d'eau et une déviation limitées à la valeur jusqu'à laquelle l'unité de forage peut encore poursuivre ses activités. Outre le pilonnement, la déviation ou le déplacement horizontal total par rapport au puits est un autre facteur limitatif en ce qui concerne la réglementation des activités opérationnelles, afin de prévenir l'endommagement du tube conducteur marin et du bloc d'obturation. Les critères opérationnels peuvent varier en fonction des caractéristiques de l'unité et de son armement; toutefois, les valeurs typiques dans la mer du Nord sont une hauteur de vague significative de 7 m avec une période de 9,5 secondes; une hauteur de vague maximale de 13 m avec une période de 12,0 secondes; un courant de 0,5 m/seconde et un vent de 20 m/seconde à la gamme de profondeur d'eau spécifiée, ainsi qu'un déplacement orbital pouvant équivaloir à 6,0 % de la profondeur d'eau. On peut également prendre en compte certains cas en attente de conditions météorologiques meilleures, avec une déviation plus prononcée et des conditions environnementales combinées plus rudes. Avec les limites de déviation mentionnées ci-dessus, il faut obtenir un facteur de sécurité de 3,0 basé sur la tension maximale des lignes d'amarrage en regard de leur limite de rupture.

En ce qui concerne la mer du Nord, le *Norwegian Maritime Directorate* a introduit des situations «après avarie», par exemple la rupture d'une seule ligne d'amarrage, les facteurs d'exploitation et de résistance étant supérieurs, quoique associés, aux facteurs de sécurité réduits de 2,0 et 1,4 respectivement. Dans le cas des semi-submersibles utilisées comme quartiers d'habitation près des plates-formes fixes, le dernier facteur de sécurité est porté à 2,0 et s'applique spécifiquement aux lignes d'amarrage qui maintiennent la séparation dans la position «dégagement».

Comme nous l'avons vu, les tensions des lignes d'amarrage et les charges des ancrs sont directement liées aux caractéristiques de mouvement de l'unité dans des conditions de mer données, les charges statiques les plus élevées s'exerçant lorsque l'unité s'écarte le plus de sa position en tension. La configuration du mouvement englobe trois effets séparables:

1. Un déplacement constant à partir de la position d'origine jusqu'à une position moyenne, en raison du vent, du courant et des forces de déport des vagues moyennes.
2. Une oscillation basse fréquence autour de cette nouvelle position moyenne, résultant d'une force de déport variant lentement, principalement du déport en raison des vagues mais accentué quelque peu par le vent.

3. Débattement ou embardées à la fréquence des vagues. Ces mouvements ondulatoires de premier ordre ont des amplitudes directement proportionnelles à l'amplitude des vagues.

Cette dépendance vis-à-vis des sollicitations de l'environnement et des déplacements forcés fait que les études de sensibilité ne peuvent s'appliquer qu'à une unité particulière. Des essais en soufflerie, la modélisation en bassins à houle et des études sur place en analysant les tensions enregistrées des lignes d'amarrage, nous ont permis d'approfondir nos connaissances des différents paramètres, et nous sommes à mettre au point des systèmes d'analyse d'amarrages entièrement dynamiques. Les derniers processus d'analyse, les conditions limites ainsi que les facteurs de sécurité reflètent l'expérience opérationnelle. Toutefois, bien qu'il existe un certain degré de normalisation dans l'approche adoptée pour la sélection de l'ensemble des limites de conception et les méthodes d'analyse des lignes d'amarrage, certaines anomalies persistent. Par exemple, le document API RP 2P (référence 6) publié récemment, recommande d'utiliser la vitesse moyenne du vent sur 1 minute comme base de calcul de la force du vent, alors que les règles du *Norwegian Maritime Directorate* (référence 7) préconisent l'emploi de la vitesse moyenne sur 1 heure. La figure 7 fournit un exemple des différences apparentes dans la force d'ancrage et la tension des lignes d'amarrage dans un environnement identique mais en utilisant comme base de calcul différentes périodes afin d'établir la moyenne des vents. Sur cette plate-forme en particulier, étant donné que la vitesse du vent prise sur 1 minute est de quelque 17 % supérieure, cela augmente la force du vent de 37 % et ajoute 30 % à la tension constante des lignes d'amarrage.

Il faut noter ici que le résultat visé dans un système d'ancrage ne dépend pas uniquement du fonctionnement à l'intérieur des limites de conception mais encore du maintien de l'intégrité et de la fiabilité de tous les composants.

Une mise en garde cependant: l'introduction de nouveaux critères apparemment plus onéreux, par exemple la défaillance d'une ligne d'amarrage, donne un système d'ancrage plus rigide. Une telle configuration augmente la charge produite par des effets actuellement perçus comme étant «de second ordre», telles les oscillations résultant d'un déport lent. Le problème de la fatigue possible à long terme reste encore à étudier.

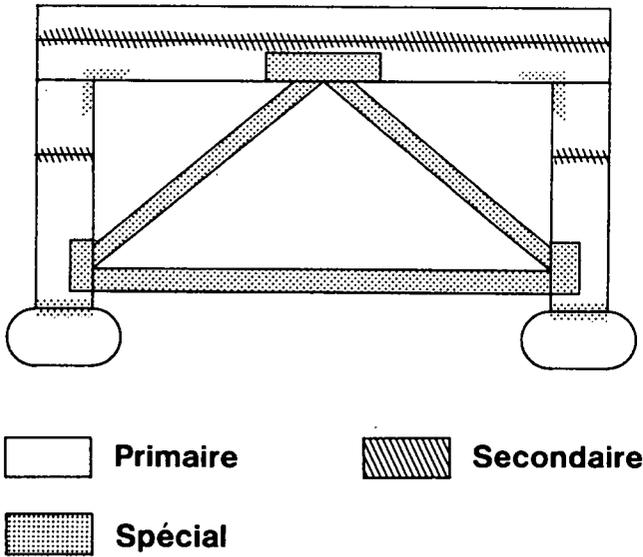


FIGURE 5 Catégories d'aciers types

CATÉGORIE STRUCTURALE	QUALITÉ D'ACIER REQUISE	ÉPAISSEUR MAXIMALE (mm) POUR DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES THÉORIQUES			
		0 °C	-10 °C	-20 °C	-30 °C
SECONDAIRE	A	30	20	10	X
	B	40	30	20	10
	D	50	40	30	20
	E	50	50	50	50
	AH	40	30	20	10
	DH	50	50	45	35
PRIMAIRE	A	20	10	X	X
	B	25	20	10	X
	D	35	25	20	10
	E	50	50	50	40
	AH	25	20	10	X
	DH	45	40	30	20
SPÉCIAL	A	X	X	X	X
	B	15	X	X	X
	D	20	10	X	X
	E	50	45	35	25
	AH	15	X	X	X
	DH	30	20	10	X
EH	50	45	35	25	

FIGURE 6 Qualités d'acier pour basse température

SEMI-SUBMERSIBLE

CRITÈRES DE CONCEPTION À L'ÉCHELLE MONDIALE
RÉSISTANCE STATIQUE

TIRANT D'EAU	HAUTEUR DE VAGUE (m)	CONTRAINTES ADMISSIBLES
TRANSIT	8 - 12	0.6 Fy
SURVIE	30 - 36	0.8 Fy
EXPLOITATION	14 - 20	0.6 Fy

FATIGUE MINIMUM 20 ANS

TIRANT D'EAU	HAUTEUR DE VAGUE (m)
EXPLOITATION	2 - 12

VENT JUSQU'À 110 NOEUDS
COURANT JUSQU'À 2,5 NOEUDS

FIGURE 8 Critères de conception

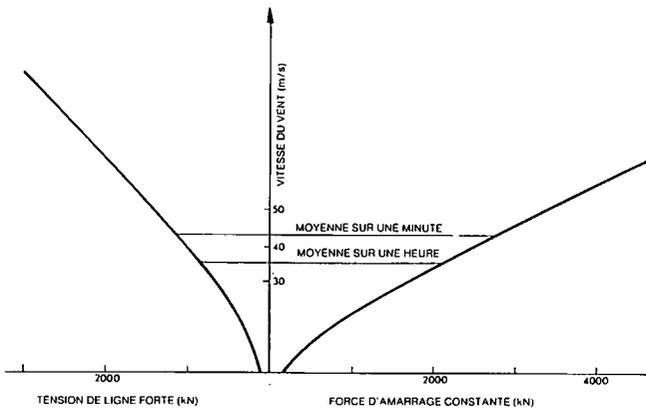


FIGURE 7 Effet de la vitesse moyenne du vent

ÉTUDE DE SENSIBILITÉ – RÉSISTANCE STATIQUE

Tous les résultats présentés dans la présente partie ont été obtenus à la suite des analyses des plates-formes actuelles répondant aux critères de conception exposés à la figure 8 et classées par la Société. Même s'il y a des différences en fonction des modèles, les tendances indiquées sont représentatives et ont été confirmées par de nombreuses analyses portant sur plusieurs plates-formes semi-submersibles récentes.

Vent

L'incidence du vent sur la structure n'est pas significative. Dans le cas d'une unité typique, les forces du vent sont de l'ordre de 250 à 500 tonnes pour une vitesse de 50 m/seconde, les forces appliquées directement sur l'avant et par le travers étant approximativement égales.

Hauteur et direction des vagues

La figure 9 montre la variation de la contrainte nominale en fonction de la hauteur et de la direction des vagues dans le cas d'un élément de contreventement transversal inférieur. Dans chaque cas, un rapport hauteur de vague/longueur d'onde constant est maintenu même si la tendance est similaire pour d'autres rapports, et le tirant d'eau demeure constant à sa valeur opérationnelle de 18 m. L'augmentation de la contrainte appliquée à l'élément en raison de l'angle d'approche des vagues est clairement démontrée. La contrainte nominale due à une vague de 20 m frappant directement par l'avant est, grosso modo, identique à celle d'une vague de 3 m frappant par le travers; inversement, il y a une augmentation de la contrainte de 46 % dans le cas d'une vague de 20 m passant d'une approche directe à une approche par le travers. Un élément de contreventement diagonal inférieur présente des caractéristiques différentes (figure 10). Dans ce cas, la contrainte nominale maximale se produit lorsque l'angle d'approche est de 45° environ et les contraintes résultant d'une vague de 20 m venant de cette direction sont de 65 % plus élevées que celles produites par une vague frappant par le travers et par l'avant, contraintes qui sont pratiquement identiques.

Hauteur et période de vagues et tirant d'eau

Dans cette étude, nous utilisons un élément de contreventement transversal d'une des plates-formes semi-submersibles les plus récentes. Seul l'angle d'approche critique par le travers est considéré.

La hauteur de vague théorique maximale pour un tirant de transit est de 10 m, de 15 m pour un tirant en exploitation et de 36 m pour un tirant de survie. Avec ces réductions imposées, les contraintes nominales calculées de l'élément à chacun de ces tirants d'eau sont représentées à la figure 11. Un rapport hauteur de vague/longueur d'onde de 1/10 a été utilisé pour des hauteurs allant jusqu'à 24 m approximativement, rapport pouvant varier à 1/14 pour la hauteur de vague maximale de 36 m. Les contraintes maximales produites au tirant de transit et au tirant en exploitation sont à peu près les mêmes et moindres que celles qui résultent d'une vague de 20 m au tirant d'eau de survie. De fait, en normalisant ces contraintes axiales par rapport à la hauteur de la vague, on obtient des courbes identiques pour les conditions de survie et d'exploitation puisque dans les deux cas l'élément de contreventement est submergé. Au tirant de transit, on obtient des niveaux plus élevés de contraintes axiales/hauteurs de vague. L'élément est alors exposé et le moment de levier associé est plus important (figure 12).

Certaines autorités tolèrent des contraintes accrues allant jusqu'à 0,8 x la contrainte d'écoulement pour toutes les conditions comportant les sollicitations de l'environnement qui sont indépendantes du tirant d'eau. En partant de ce principe, il est évident que les contraintes au tirant d'eau de survie constitueront les critères de conception critiques pour déterminer la résistance de l'échantillonnage. D'autre part, notre règle de conduite a toujours été de restreindre les contraintes au tirant de transit et au tirant d'exploitation à 0,6 x la contrainte d'écoulement normale, et de n'appliquer le facteur accru de 1 1/3 qu'au tirant de survie, ce qui est compatible avec le fait qu'une installation normale devrait passer moins de 10 % de sa durée utile dans des conditions extrêmes de tempête au tirant d'eau de survie, l'installation demeurant au tirant d'exploitation le plus longtemps possible. En incorporant le facteur augmenté admissible uniquement dans les cas de tempêtes extrêmes au tirant d'eau de survie, les changements dans les critères de conception et l'échantillonnage de la résistance seront déterminés par les cas d'exploitation limités à 0,6 x la contrainte d'écoulement. La ligne pointillée dans la figure 11 représente la condition de survie réduite par le facteur 0,6/0,8 aux fins de comparaison.

Il faut mentionner que les conditions de transit et, à un degré moindre, les conditions de survie sont basées sur des valeurs prudentes car on s'attend à ce que la plate-forme se tienne debout à la lame aux conditions de vagues limites pour chaque tirant d'eau.

ÉTUDES DE SENSIBILITÉ À LA FATIGUE

La résistance à la fatigue des structures en acier soudé dépend uniquement de la plage des contraintes appliquées et du nombre d'applications correspondant. En tout point de la structure, la plage de contraintes dépend du tirant d'eau, de la hauteur de la vague, de la période de la vague, de l'orientation et du facteur de concentration des contraintes. Avec une courbe d'excès de vague pour la zone d'exploitation, on peut déterminer une courbe d'excès de contraintes. On évalue ensuite la résistance à la fatigue à partir de la loi de l'endommagement cumulatif de Palmgren Miner à l'aide d'une courbe S-N correspondant aux caractéristiques de soudage. Il est évident que les conditions climatiques jouent un rôle important dans cette évaluation.

Période et direction des vagues

Pour un élément de contreventement transversal semblable à celui qui a été utilisé précédemment, on a évalué les plages de contraintes pour 5 hauteurs de vague, soit 2 m, 4 m, 6 m, 8 m et 12 m avec les périodes moyennes représentées à la figure 13, et on a établi une courbe d'excès de plage de contraintes (figure 14). Une fois de plus, les vagues par l'avant produisaient peu d'effets. À l'aide des courbes S-N du ministère de l'Énergie du Royaume-Uni, on a évalué l'endommagement par fatigue et la résistance à la fatigue (figure 15). On a ensuite répété le processus entier en assignant cette fois une plage de périodes à chaque hauteur de vague. Du point de vue de la fatigue, les résultats étaient similaires, la période moyenne donnant des valeurs prudentes pour la durée utile. Il faut aussi remarquer la forme convexe de la courbe d'excès de la plage de contraintes.

Dans l'analyse spectrale classique, les excès de vague sont calculés à partir d'une fonction de distribution de Rayleigh. On obtient alors une variation linéaire des hauteurs de vague et des excès sur du papier semi-logarithmique. En supposant en plus qu'il existe une relation linéaire entre la hauteur des vagues et les contraintes, on obtient aussi une courbe linéaire pour l'excès de la plage de contraintes, contrairement au résultat obtenu précédemment. On utilise la méthode en raison de sa simplicité de calcul mais elle donne lieu à des imprécisions lorsque la relation entre la contrainte et la longueur d'onde n'est pas linéaire, comme dans le cas des semi-submersibles. On utilise donc la méthode qui suit (référence 8) pour évaluer les excès de la plage de contraintes (figure 16). Les conditions de mer sont définies par le diagramme de dispersion des hauteurs de vague significatives

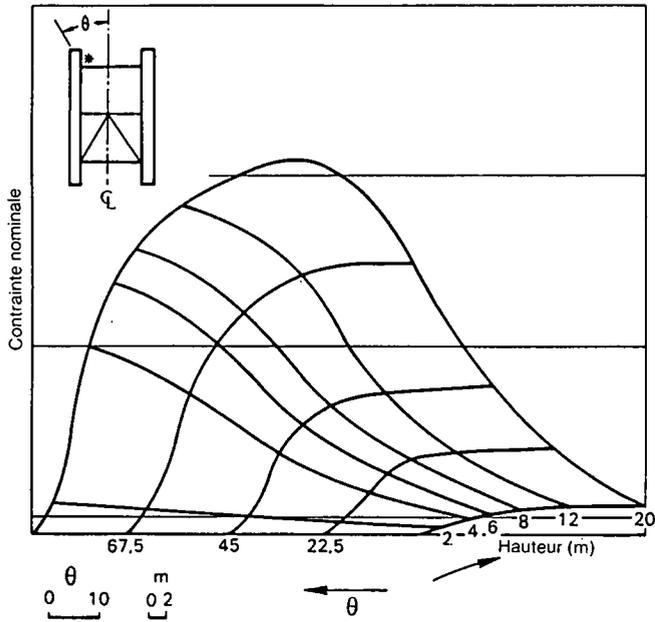


FIGURE 9 Variation de la contrainte nominale

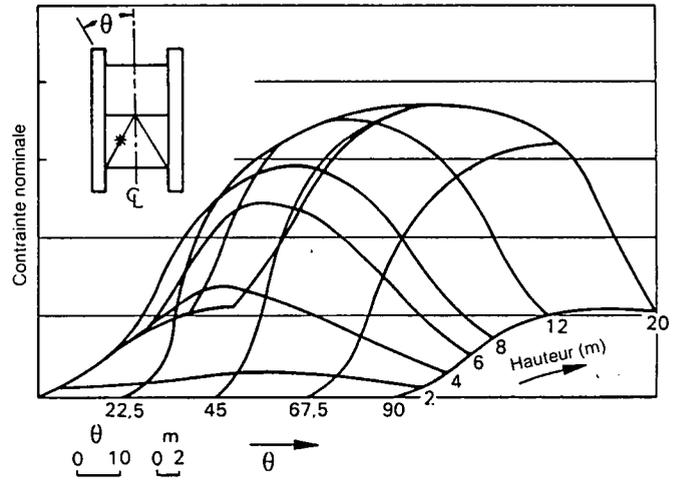


FIGURE 10 Variation de la contrainte nominale

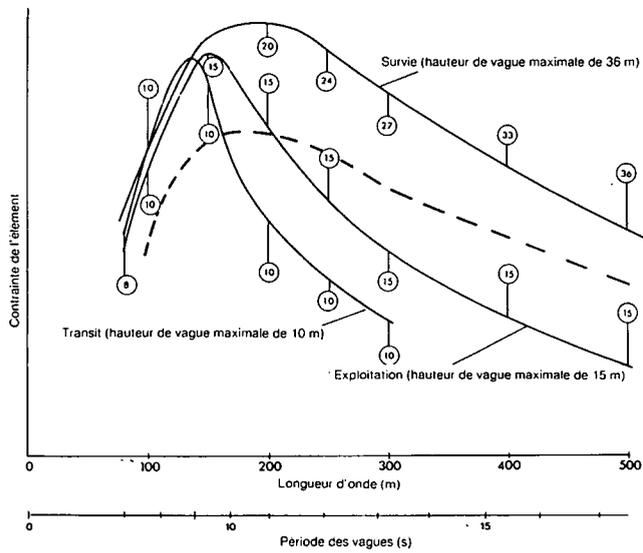


FIGURE 11 Contraintes maximales de l'élément de contre-ventement

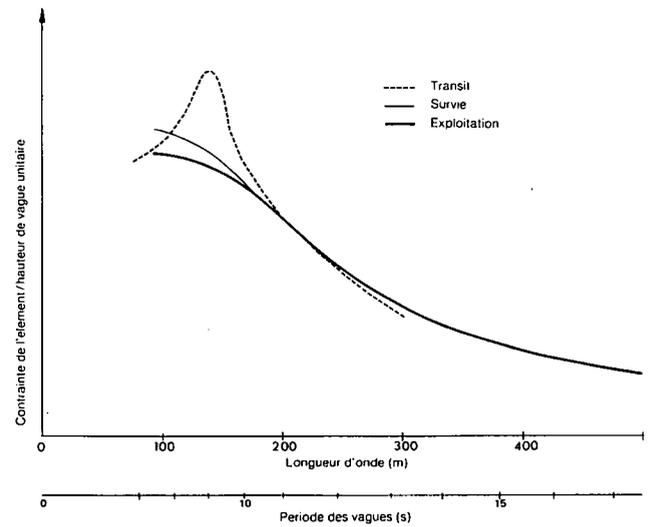


FIGURE 12 Contraintes normalisées de l'élément de contre-ventement

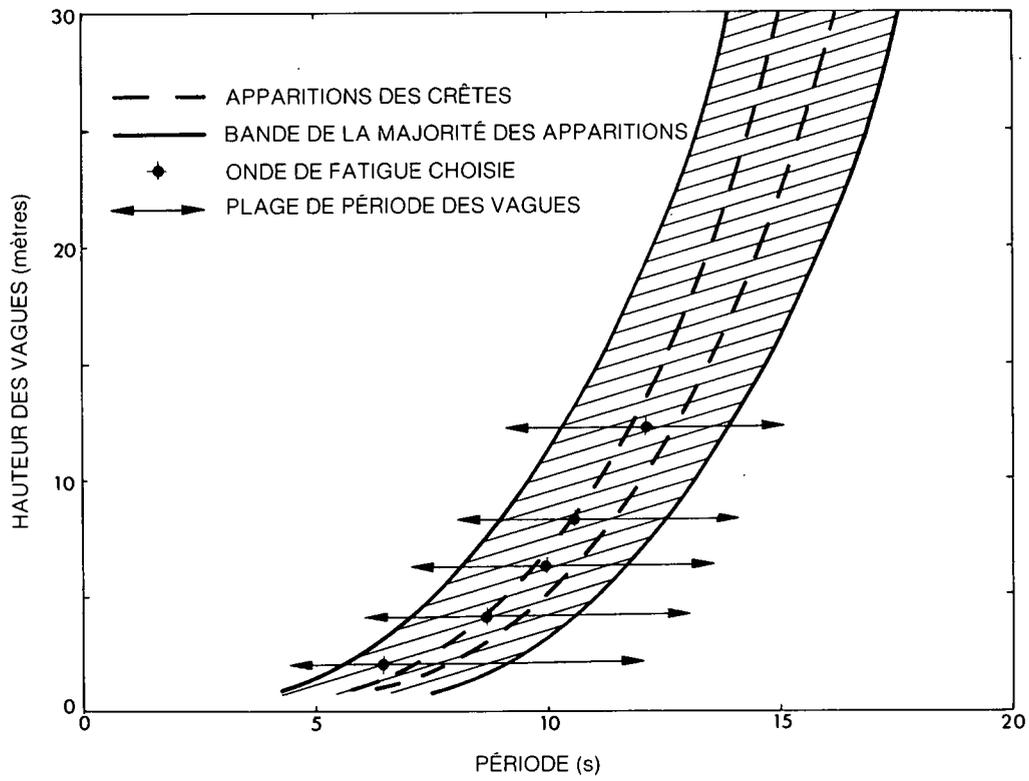


FIGURE 13 Distribution de la hauteur des vagues en fonction de la période

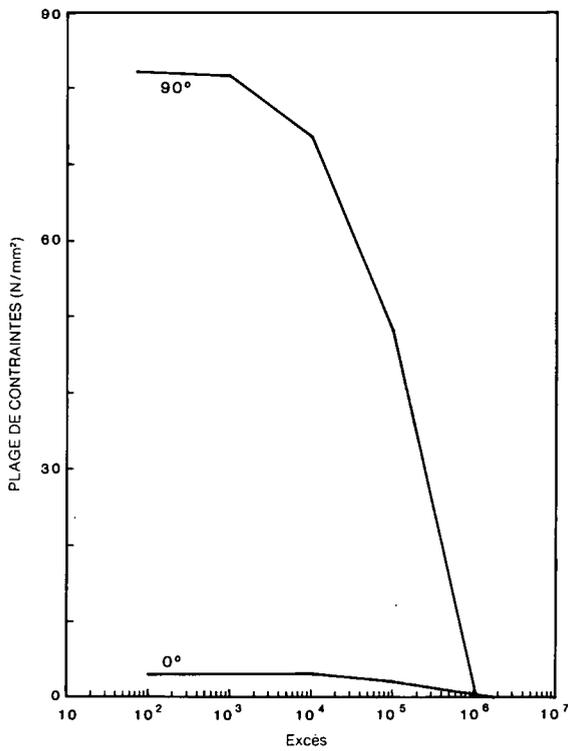


FIGURE 14 Excès de plage de contraintes type

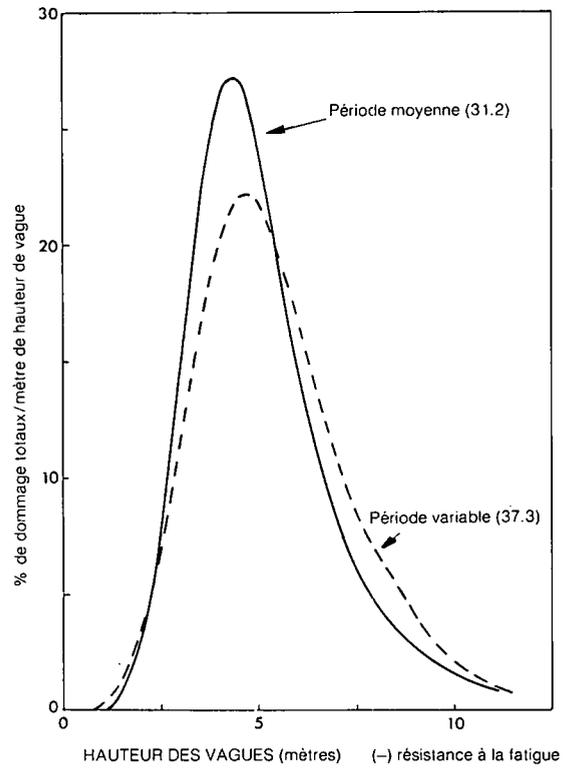


FIGURE 15 Dommages de fatigue

et des périodes de passage par zéro. Pour calculer les spectres de plage de contraintes, on se sert d'un ensemble de fonctions de transfert de plage de contraintes que représente la plage de contraintes par unité de hauteur de vague en fonction de la période donnée par la cambrure des vagues. On évalue le nombre de cycles de contraintes correspondant à une hauteur des vagues donnée en additionnant les cycles d'une fonction de distribution de Rayleigh des hauteurs de vagues seulement. On classe les niveaux de contraintes et leur nombre afin d'obtenir le nombre de plages de contraintes que l'on additionne pour obtenir la courbe d'excès, qui confirme la forme convexe obtenue par la méthode non aléatoire. Cet aspect est important car la forme de la courbe par rapport à la courbe S-N admise permet de déterminer les conditions de mer qui occasionnent le plus de dommages. La figure 17 montre un «diagramme de dispersion» d'endommagement annuel caractéristique; elle indique que les conditions de mer qui occasionnent le plus de dommages à une semi-submersible correspondent aux périodes de passage par zéro de 6 à 10 secondes et aux hauteurs de vagues significatives de 3 à 6 mètres. Les données proviennent d'un diagramme de dispersion pour la mer du Nord. On y tient compte du fait que le nombre «d'occurrences» de ces conditions de mer dans le diagramme de dispersion des vagues a déjà été pris en considération dans le tableau récapitulatif des dommages. On considère aussi qu'il est réaliste de fixer à une hauteur de vague d'environ 2 mètres la limite de niveau inférieur du diagramme de dispersion des vagues, étant donné que les dimensions caractéristiques de la structure sont supérieures au trajet orbital des particules des vagues pour les faibles hauteurs de vagues. Il en résulte des inexactitudes dans l'estimation de la charge, et les niveaux de contrainte sont très faibles.

COURBES S-N

Pour une même courbe d'excès de plage de contraintes correspondant à une zone critique de la semi-submersible, la résistance à la fatigue calculée et la distribution des dommages peuvent varier selon les courbes S-N publiées, par exemple celles du ministère de l'Énergie du Royaume-Uni/B.S. 5400, de l'Institut du soudage (référence 9), ou de l'*American Welding Society* (référence 10), pour les mêmes caractéristiques de soudage.

La figure 18 montre la distribution relative des dommages pour des facteurs de concentration des contraintes de 1,0, 1,4 et 1,8 ainsi que la résistance à la fatigue calculée.

D'après la courbe «F» de l'A.W.S., aucun dommage ne résulte des trois facteurs de concentration pour toutes les hauteurs de vague inférieures à 5 m, et le dommage total ne correspond qu'à une faible fraction de la courbe «W» du ministère de l'Énergie pour laquelle aussi 40 % des dommages et plus sont produits aux hauteurs de vague inférieures à 5 m.

Conception détaillée

L'expérience a montré que les fissures de fatigue se propagent à partir de zones pour lesquelles les facteurs de concentration sont élevés, soit aux noeuds soit le long des éléments de contreventement. Bien qu'il soit préférable d'éviter tous les raccords inutiles, certains sont essentiels, par exemple les soudages en bout, les raccords anodiques, etc. Les entretoises de contreventement inférieures d'une semi-submersible sont soumises à une configuration de plage de contraintes complexe due à l'ensemble de la déformation, de la torsion et du fendage des pontons et des colonnes causés par le passage de chaque vague. La figure 19 montre la plage de contraintes maximale pour les charges axiales et transversales le long d'une entretoise «dégagée» pour trois angles différents d'approche des vagues. On peut voir que la mer venant de la hanche produit la plage de contraintes maximale sur 30 % de sa longueur près de chaque colonne, les 40 % du centre étant critiques pour les mers de travers. À l'aide des facteurs de concentration des contraintes obtenus à partir d'essais de modèles en acrylique concernant des détails types (figure 20), on a effectué plusieurs études paramétriques (référence 11) pour différentes courbes d'excès de la mer du Nord, et les résultats concernant l'acceptation des détails ou caractéristiques le long d'une entretoise, y compris l'effet de la contrainte théorique maximale de l'entretoise, sont présentés à la figure 21. Ainsi, par exemple, pour une limite de contrainte nominale de 0,7 Fy dans l'entretoise, seule une soudure en bout meulée est acceptable sur la longueur entière; un bout de pièce de renfort mélangé lisse serait acceptable seulement sur 80 % du milieu de l'entretoise, toutes les autres caractéristiques étant inacceptables. À l'autre extrême, toutes les caractéristiques seraient acceptables si on utilisait une limite de contrainte nominale de l'entretoise de 0,4 Fy.

HISTORIQUE D'EXPLOITATION

On peut voir que pendant la phase de conception, plusieurs hypothèses doivent être faites au sujet des conditions environnemen-

tales auxquelles une plate-forme risque d'être exposée pendant sa durée de service. Cette situation est rendue encore plus complexe par le nombre de régions différentes dans lesquelles une plate-forme est susceptible d'être utilisée. L'une de nos plates-formes classées a déjà traversé l'Atlantique plus de 8 fois et plus récemment, la plate-forme *Benreoch*, construite en Corée, a été remorquée vers la Nouvelle-Zélande pour une courte saison de forage; elle sera ensuite remorquée à sec vers les eaux européennes pour effectuer d'autres travaux.

Pour quantifier les conditions d'exploitation réelles, on examine de façon continue les journaux de bord de plusieurs semi-submersibles (renvoi 1). Par exemple, la figure 22 montre les valeurs consignées aux six heures pendant les six premières années d'exploitation de la *Pentagone 84*. L'étalement initial de la hauteur des vagues donnait une meilleure correspondance pour $H(\text{significative}) = 0,7 H(\text{visuel})$ et on a toujours utilisé ce facteur par la suite. La figure 23 montre une rosette de pourcentage cumulatif annuel type. Les bandes de hauteurs de vagues significatives ont été augmentées par intervalles de 2 m à partir de zéro. Étant donné qu'on a aussi consigné les caps de la plate-forme, la rosette de droite montre les conditions de mer en pourcentage par rapport à l'axe de la plate-forme. Dans l'exemple donné, la *Pentagone 84* était en service dans la Manche et dans la plupart des cas, la mer venait de l'ouest. Étant donné que la plate-forme était aussi orientée vers l'ouest pendant cette période, la mer était la plupart du temps de l'avant. À partir de ces rosettes, on a tracé, pour toute la durée utile, des courbes d'excès relatives à la plate-forme, les données sur les vagues étant regroupées selon la hauteur, la période et la direction.

Pour chaque catégorie de hauteur et de direction des vagues, on a converti l'heure d'apparition exprimée sous forme de pourcentage en nombres de vagues et les rapports de nombres de vagues pour chaque hauteur sont représentés pour deux directions relatives à la plate-forme à la figure 24.

Les rapports sous forme de pourcentage pour les mers de l'avant sont compris entre 17 % dans le cas des vagues d'une hauteur inférieure à 2 m et 40 % dans le cas des vagues d'une hauteur supérieure à 12 m. Ces pourcentages et les effets subséquents produits sur la structure seraient très différents pour un autre ensemble de caps d'exploitation, car on se souvient que les vagues de travers peuvent causer, sur certaines entretoises critiques, des dommages par fatigue 30 fois plus importants que des vagues de l'avant de même hauteur.

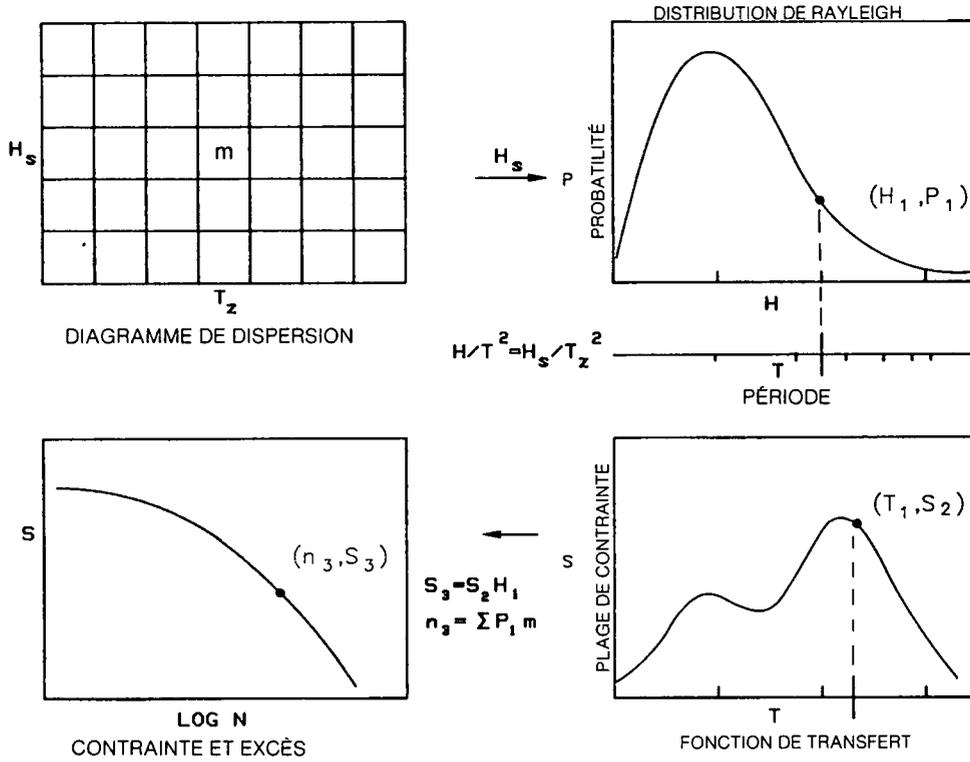


FIGURE 16 Analyse spectrale modifiée

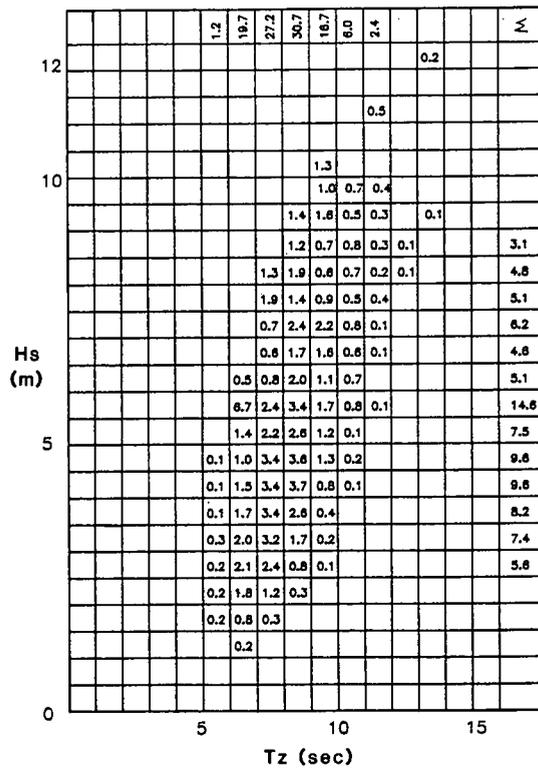


FIGURE 17 Diagramme de dispersion des dommages annuels

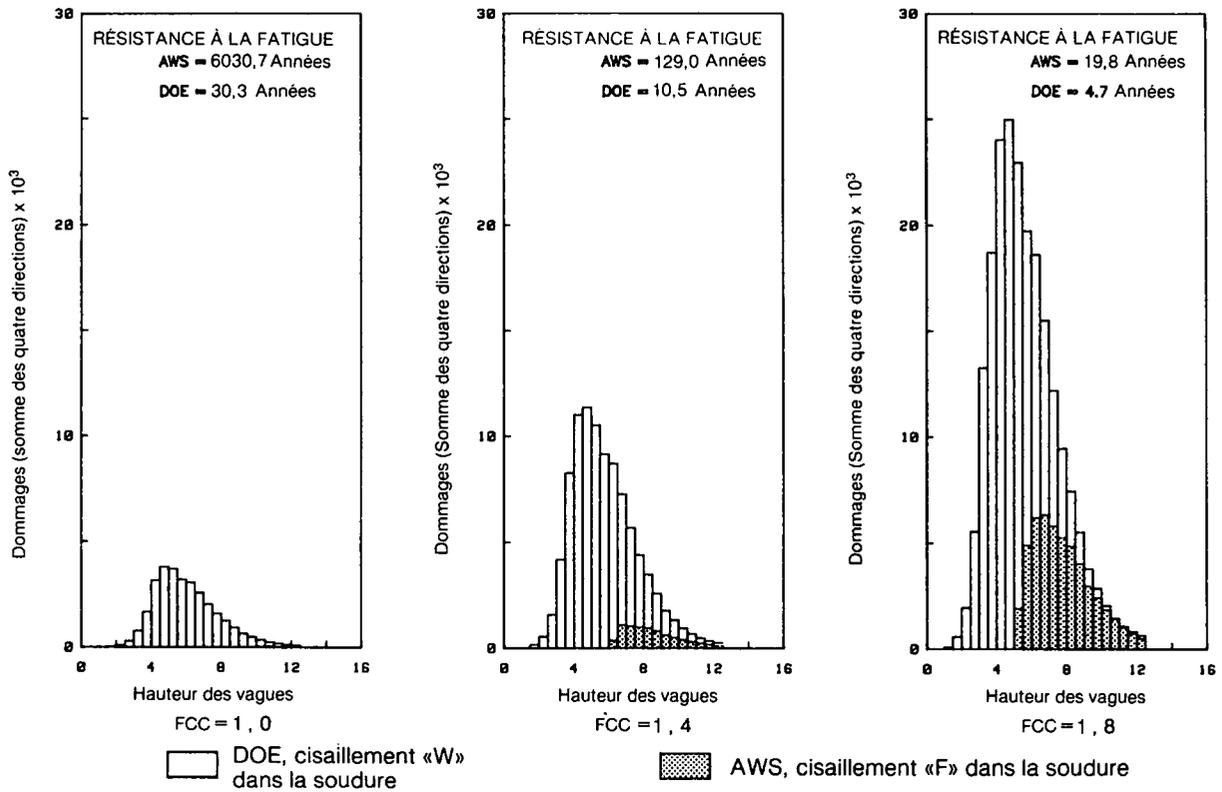


FIGURE 18 Distributions des dommages de fatigue

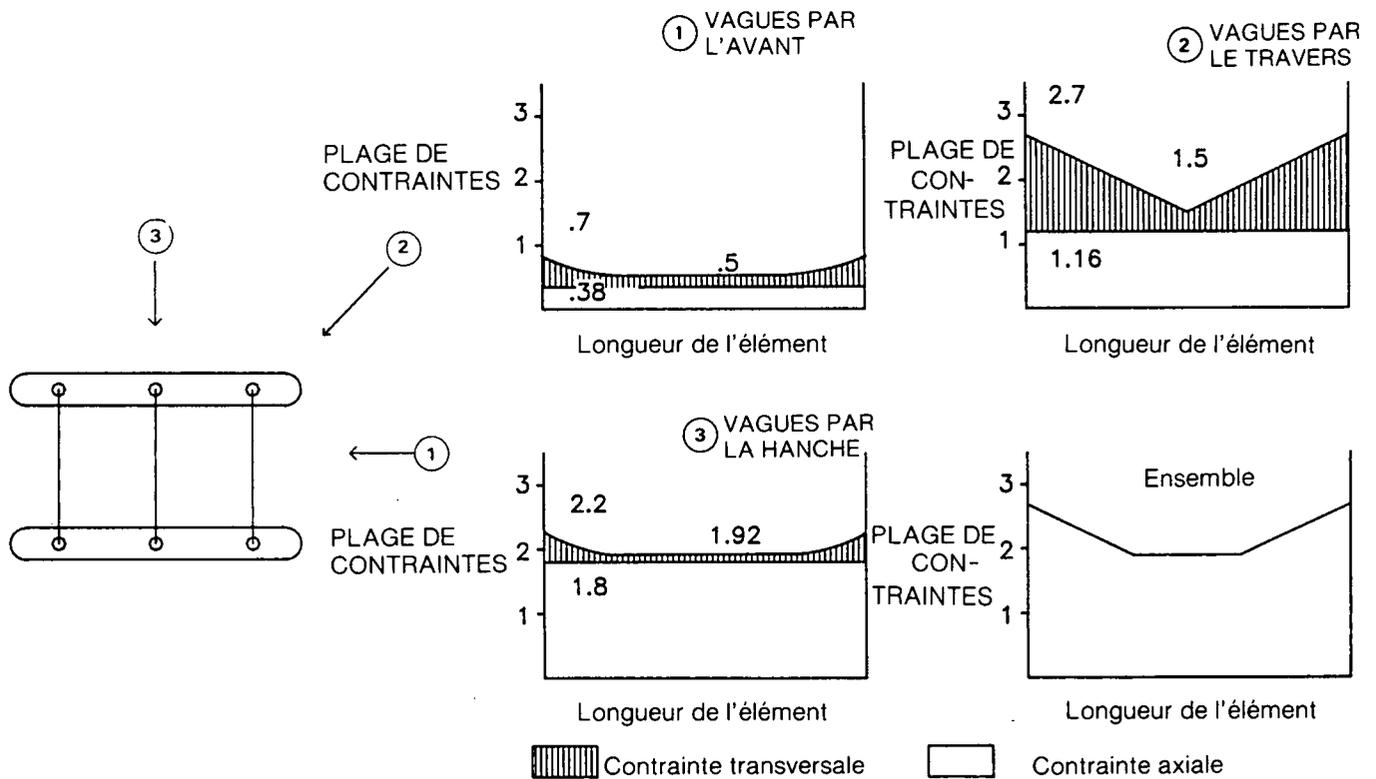


FIGURE 19 Distribution de la plage de contraintes

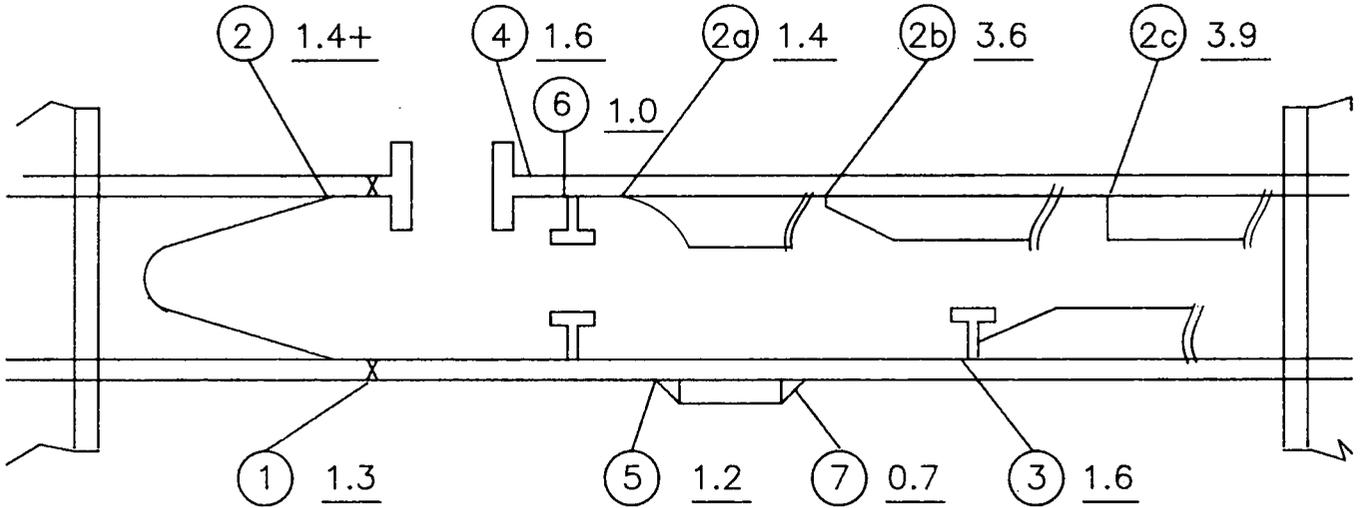


FIGURE 20 Facteurs de concentration des contraintes

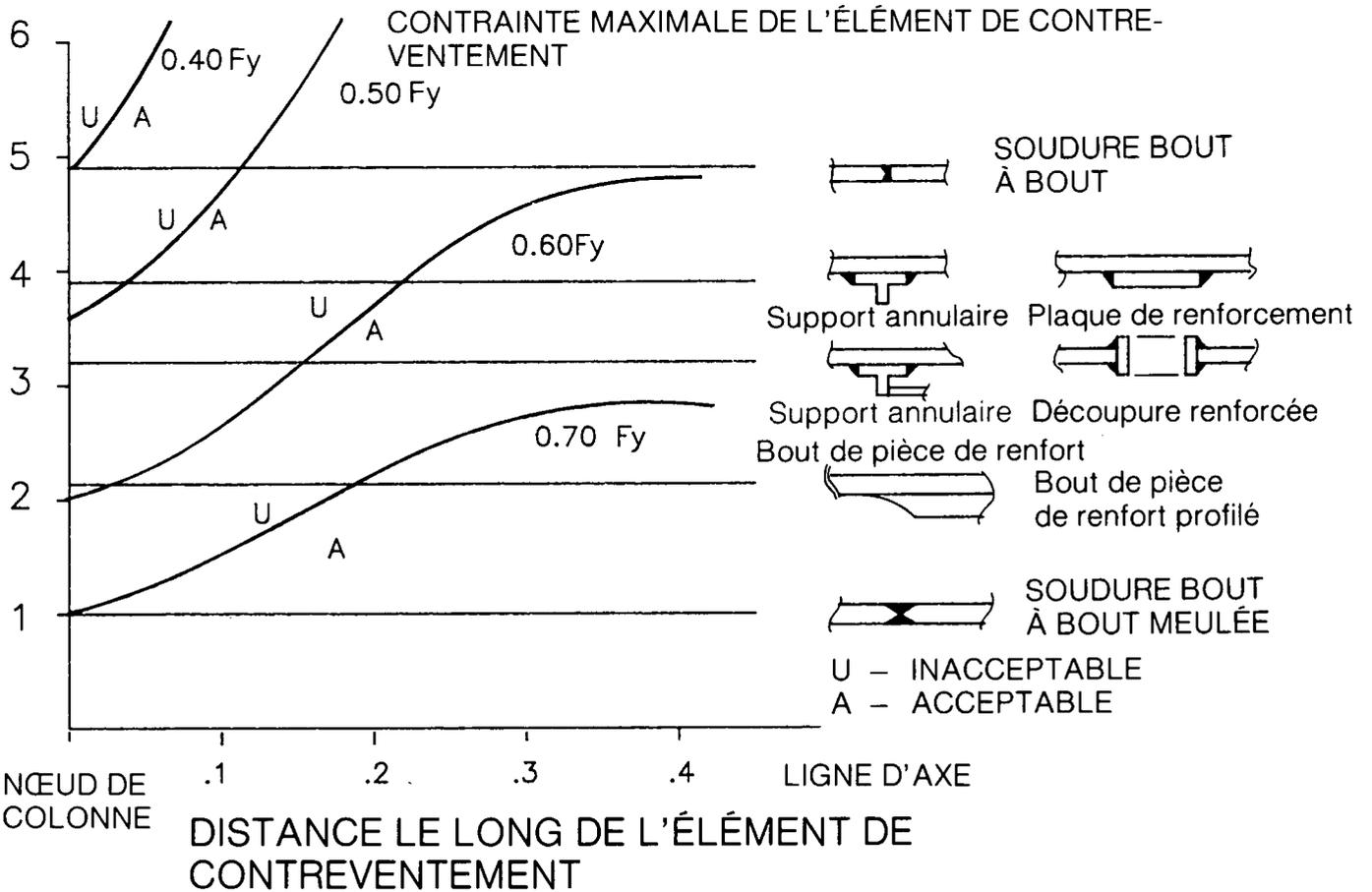


FIGURE 21 Acceptation des caractéristiques de soudage

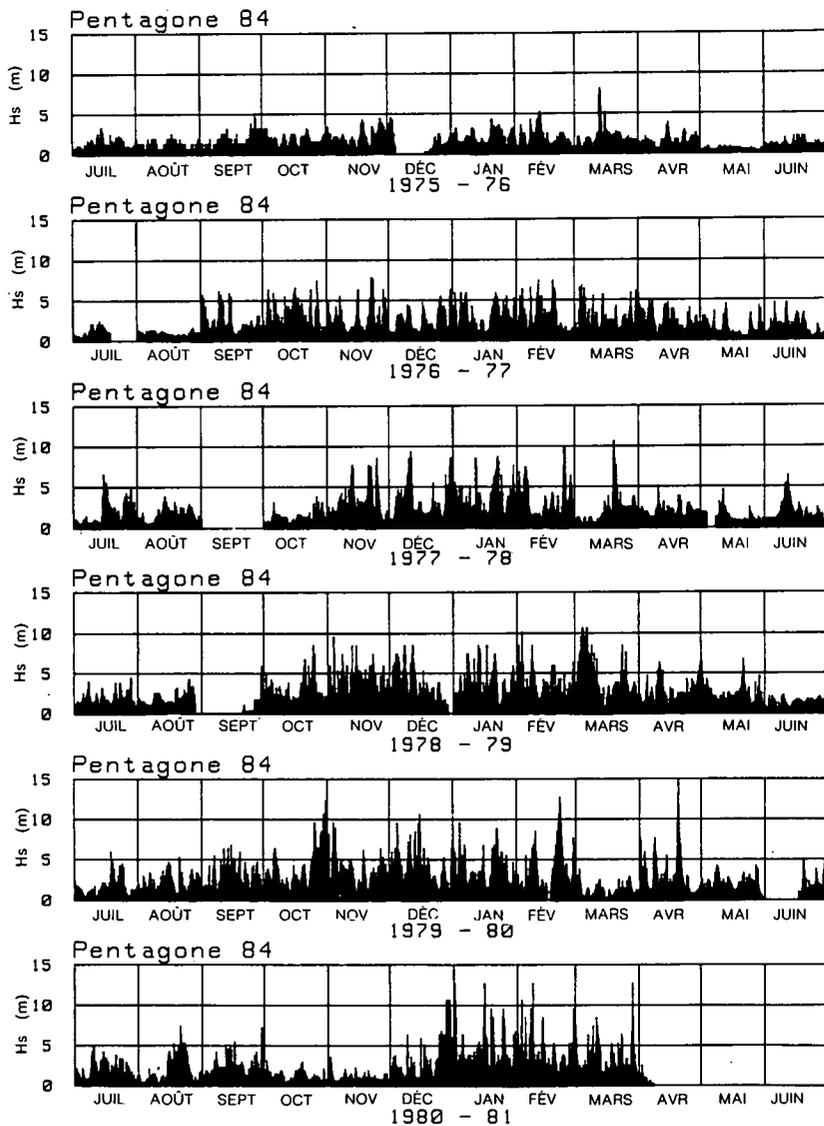


FIGURE 22 Historique des conditions de mer

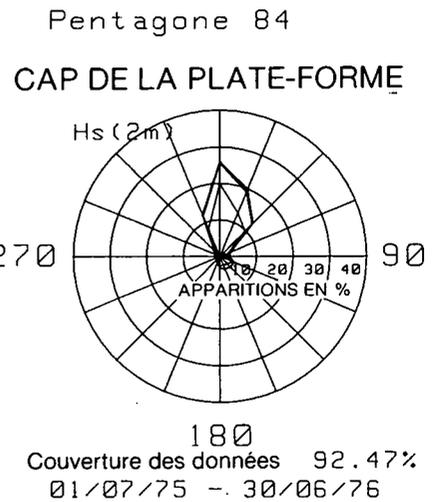
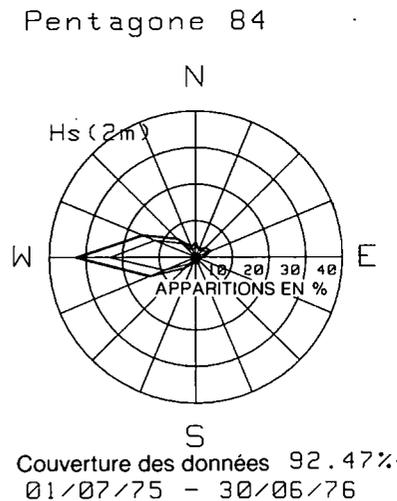


FIGURE 23 Rosettes annuelles

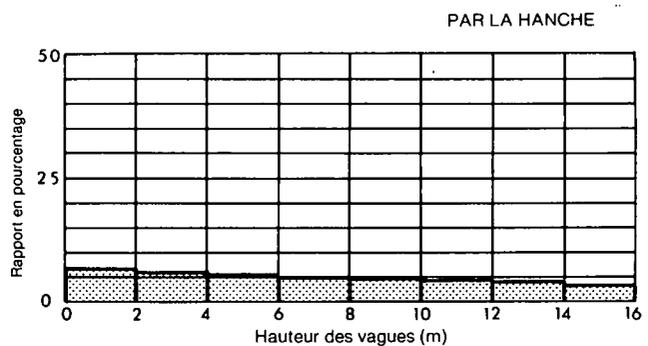
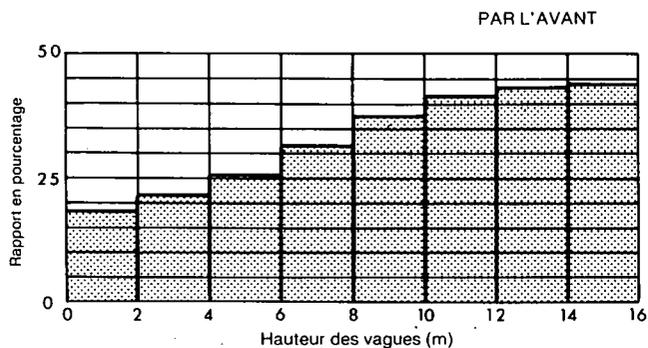


FIGURE 24 Distribution de la direction des vagues

CONCLUSIONS

1. L'objectif fondamental de la conception d'une semi-submersible est de mettre à la disposition de l'industrie offshore une grande plate-forme stable, bien que mobile, à partir de laquelle des opérations de forage et autres peuvent être effectuées sans danger et de façon efficace et économique. C'est pourquoi le modèle définitif doit être un compromis entre les différents critères opposés, parmi lesquels se retrouvent les conditions climatiques.
2. Même dans des conditions environnementales similaires, les effets exercés sur la structure peuvent varier selon les méthodes d'exploitation.
3. La sensibilité calculée aux contraintes de parties critiques de la structure en fonction d'aspects particuliers de l'environnement peut aussi varier selon les exigences nationales et les codes de pratiques.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le Comité qui lui a permis de présenter son exposé et ses collègues qui l'ont aidé à le préparer.

Les opinions exprimées sont celles de l'auteur et pas nécessairement celles du *Lloyd's Register of Shipping*.

Bibliographie

- (1) Design and Operation of Semi-submersibles. C.A. Bainbridge, R.I.N.A. Symposium on Offshore Engineering, 5 novembre 1981.
- (2) *Uncle John* a semi-submersible multi-purpose support vessel. J.M. Houlder CBE, Institute of Marine Engineers, Vol. 94, 1981, document 18.
- (3) Rules and Regulations for the Classification of Mobile Offshore Units, Lloyd's Register of Shipping, 1984.
- (4) Rules and Regulations for the Classification of Ships, Lloyd's Register of Shipping, 1984.
- (5) Designing the *Trosvik Bingo 3000*, K. Haslam, *The Naval Architect*, mars 1981.
- (6) The analysis of spread mooring systems for floating drilling units, American Petroleum Institute, API RP 2P, première édition, 1^{er} janvier 1984.
- (7) Regulations for Mobile Drilling Platforms 1983, Norwegian Maritime Directorate.
- (8) A parametric investigation of fatigue of semi-submersibles, OSG/TR/84004, juillet 1984, R. Nataraja, rapport interne (publication prochaine).
- (9) Offshore Installations. Guidance on the Design and Construction, Her Majesty's Stationery Office.
- (10) Structural Welding Code – Steel, American Welding Society ANS/AWS/D1. 1-83.
- (11) Design Considerations of Permanently Moored Semi-submersibles, C.A. Bainbridge, 5^e Conférence de l'Asie du sud-est, février 1984.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT B2

B.P. M. Sharples
Président
Noble, Denton & Associates

Je remercie la Commission royale ainsi que l'auteur de me fournir l'occasion de commenter ce document et d'élaborer sur le thème des facteurs environnementaux dont on doit tenir compte à l'étape de la conception.

L'auteur doit être félicité d'avoir effectué l'une des analyses les plus complètes et intéressantes portant sur les plates-formes semi-submersibles et d'avoir identifié au moins quelques-unes des données incompatibles que les concepteurs de ces structures complexes doivent prendre en compte.

Au cours des dix dernières années, de nombreux progrès ont marqué les techniques d'analyse des semi-submersibles; cependant, il reste beaucoup à faire. Nous avons vu dans ce document comment des programmes machines peuvent reproduire les mouvements d'une semi-submersible et de quelle façon on peut en appliquer les résultats au calcul des contraintes entraînées au niveau des joints. La plupart des programmes disponibles sont fondés sur les mêmes équations hydrodynamiques mais l'apport de coefficients d'amortissement peut modifier les résultats, ce qui peut mener à des solutions différentes. La majorité des programmes ont été vérifiés en regard de quelques essais de modèles, au moins, mais même ces derniers diffèrent selon le type de bassins à houle dans lesquels ils ont été menés. Une récente analyse de semi-submersibles où l'on a appliqué la théorie de la diffraction par opposition à la technique Morrison, a révélé des écarts dans les contraintes pouvant atteindre 20 %. L'inclinaison induite par la houle et constatée pendant les essais de modèles est un autre domaine qui provoque une certaine controverse mais, jusqu'à présent, rien ne prouve hors de tout doute qu'elle constitue un problème dans le cas de plates-formes opérationnelles (1). Tel est l'état actuel de la technique, et les organismes de recherche et développement révisent continuellement les moyens d'analyse mis à notre disposition.

En 1972, j'étais à bord d'une des premières semi-submersibles de la mer du Nord à subir des dommages par fatigue. Dans ce cas, le point de départ de la fissure par fatigue se trouvait au niveau d'un trou d'accès dans un élément de contreventement. Les mesures prises par l'industrie relativement à ce problème furent excellentes et, comme résultat de cet incident et de quelques autres problèmes de même nature, nous

disposons aujourd'hui de moyens élaborés, comme l'a indiqué M. Bainbridge, nous permettant d'évaluer les effets de la fatigue. Il y a dix ou douze ans, cela ne se faisait pas dans un environnement offshore même s'il existait déjà une certaine technologie dans l'industrie aéronautique. Une fois que ce type d'analyse très compliquée est fait et que le contrôle des calculs est terminé, il importe de savoir qu'il existe encore des problèmes concernant l'exploitation de ces unités en tenant compte de l'environnement. Permettez-moi d'abord de dire que le meilleur moyen qu'ont les propriétaires, les assureurs et les organismes gouvernementaux de s'assurer d'une conception de qualité selon les règles de l'art, est de faire vérifier les calculs par une société de classification et de faire construire l'unité selon les normes de cette société.

Certaines hypothèses sous-tendent toute analyse, et l'on doit s'assurer qu'elles restent valables sur les lieux d'exploitation. Supposons une semi-submersible devant être exploitée dans la mer du Nord. Comme M. Bainbridge le fait remarquer, on pourrait prévoir des vagues maximales de 98 pieds ayant, disons, une période de 19 secondes. À un endroit donné au large des côtes du Canada, il peut sembler plus approprié de prévoir des vagues de 105 pieds avec une période de 14 secondes. Étant donné que nous savons que la hauteur des vagues et la période peuvent modifier les contraintes, nous devons prendre en compte l'incidence, sur l'unité, de ces facteurs environnementaux modifiés.

M. Bainbridge nous renvoie au diagramme de la répartition des fréquences des hauteurs de vague utilisé pour calculer la durée utile en fatigue d'une semi-submersible. La répartition des hauteurs de vague varie selon les différentes parties du globe. Comme l'indique la figure 1 (2), une semi-submersible vérifiée selon cette méthode et devant être exploitée dans le golfe du Mexique n'aurait pas nécessairement une durée utile appropriée en fatigue si elle était destinée aux forages dans la mer du Nord ou au large de la côte est du Canada.

Je veux surtout faire remarquer que lorsqu'une installation de forage, conçue en fonction de certaines hypothèses relatives au milieu, change de secteur d'exploitation, on doit vérifier ces hypothèses en regard des conditions pour lesquelles les calculs ont été faits.

Prenons-en comme exemple la première semi-submersible remorquée jusqu'à la baie d'Hudson. Elf Aquitaine avait affrété la plate-forme semi-submersible *Pentagone 84*, appartenant à la société *Forex Neptune Drilling* et exploitée par cette dernière, en vue de forer deux puits pendant l'été de 1974. Avant d'entreprendre son remor-

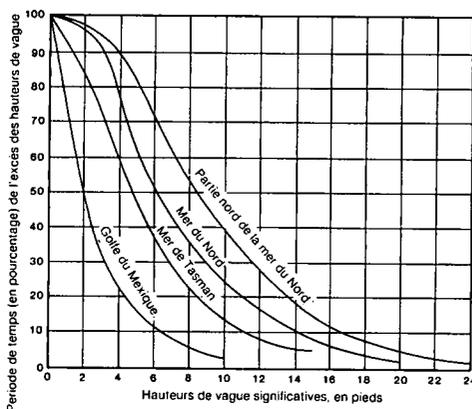


Figure 1 Excès des hauteurs de vague pour quatre zones offshore.

quage à partir de la mer du Nord, une étude fut faite afin de déterminer les conditions de glace susceptibles de toucher le détroit d'Hudson lorsqu'on déclarait ce dernier ouvert à la navigation. En se fondant sur cette étude, on entreprit de renforcer les cinq pontons-socles de l'unité au niveau de la ligne de flottaison afin qu'ils puissent supporter l'impact des glaces sur une surface couvrant 120° de part et d'autre de la ligne médiane à partir de l'avant. En juin, dans le passage intérieur du détroit, on rencontra une couche de glace de plusieurs années, de concentration 7/10, ainsi que des floes estimés à 15 000 tonnes qui furent frappés à faible vitesse. Pendant le voyage de retour en octobre, on ne rencontra pas de glace.

De crainte d'être jugé trop alarmiste, je puis vous assurer qu'à partir de toutes les données dont j'ai pris connaissance jusqu'à présent, mis à part le problème des icebergs, les paramètres environnementaux relatifs à la mer du Nord et aux eaux situées au large de la côte est du Canada sont très semblables. Or donc, les méthodes et les techniques mises au point dans le cadre de l'exploitation pétrolière dans la mer du Nord peuvent s'appliquer directement ici.

On hésite à faire un choix parmi les méthodes d'analyse et les courbes de fatigue ou à déterminer la hauteur de vague appropriée. Le concepteur opte alors pour une méthode prudente et il s'assure que les inspections détaillées en service sont réalisées pendant une période de référence déterminée par les méthodes d'analyse.

Que se passe-t-il lorsqu'on décèle une fissure due à la fatigue? Fait-on une passe de soudure et recommence-t-on à calculer la durée utile en fatigue à partir du moment de cette réparation? En meulant suffisamment de matériau de chaque côté de la fissure, on peut évidemment recommencer le cycle de la durée utile à cet endroit précis de la plate-forme. On doit prendre en compte le joint qui était moins critique la première fois et qui peut maintenant être le prochain élément à se fissurer parce qu'on n'a pas recommencé son cycle de durée utile en fatigue. De toute évidence, je simplifie le problème. Au Welding Institute d'Abingdon en Angleterre, des recherches sont en cours afin de déterminer laquelle des diverses techniques de réparation constitue le meilleur moyen de prolonger la durée utile en fatigue des joints tubulaires. Ces recherches visent également à déterminer s'il suffit de réparer uniquement la partie fissurée du joint ou s'il faut traiter les autres parties qui ont subi des dommages répétés en fatigue sans que des fissures ne soient décelables pour autant.

Alors, compte tenu des contraintes qu'on doit déterminer dans le cadre d'une étude de faisabilité, des limites de l'unité et de sa

capacité d'exploitation dans un secteur particulier, et tenant pour acquis qu'un programme d'inspection rigoureux sera réalisé, quels sont les autres facteurs environnementaux susceptibles de nous intéresser? Quel que soit le secteur d'exploitation, on doit établir la capacité de tenue des ancrs qui maintiennent l'unité sur place; il nous faut donc analyser les paramètres relatifs au fond marin. On doit s'assurer qu'il n'y a pas de câbles sous-marins ni pipelines ensouillés qu'une ancre dérapante risquerait de sectionner, et l'on doit être certain qu'aucune obstruction sous-marine ne peut endommager les amarres de la plate-forme. Les calculs relatifs aux amarres, comme le document en fait état, touchent les parties qui vont des ancrs jusqu'à la surface. Devant une plate-forme, ni le concepteur ni la société de classification ne peuvent avancer que le système est approprié, car sa capacité de tenue est fonction des conditions du sol marin à l'endroit précis de son utilisation. Qu'on se rappelle l'hiver de 1973 où plusieurs unités ont rompu leurs amarres dans la mer du Nord. En 1982, toujours dans la mer du Nord, pendant le mouvement transitoire résultant de la défaillance d'une amarre double, une plate-forme a emporté l'obturateur anti-éruption, laissant ainsi le puits ouvert à la mer (3).

À défaut de faire mieux, le choix des ancrs à installer sur ces plates-formes n'est que le résultat d'un compromis étant donné qu'on peut devoir les amarrer dans nombre de fonds marins différents. Il vaut toujours mieux s'assurer que le fond au-dessus duquel l'unité doit être exploitée convient aux ancrs qui se trouvent à bord. Dans certains cas lorsque les ancrs ne mordent pas, on doit les changer ou les empenner afin que l'unité reste sur place dans des conditions de tempête modérées.

Il n'y a pas de moyen sûr de tester l'ancre à sa pleine capacité. Normalement, on procède à la prétension, c'est-à-dire qu'on lui fait subir approximativement 60 % des contraintes susceptibles de lui être imposées dans les pires conditions de tempête. Pour éprouver l'amarre, on maintient cette prétension pendant une heure environ. La tenue réelle de l'ancre au moment de l'effort est fonction de nombreux facteurs, y compris les forces dynamiques appliquées sur l'amarre, le frottement de cette dernière sur le fond marin et l'état général de la ligne. Les calculs sont faits en tenant pour acquis que l'équipement est neuf ou comme neuf, et qu'il n'a pas été soumis à des contraintes excédant sa durée utile en fatigue.

Même si l'on éprouve parfois des difficultés à appliquer les méthodes d'analyse, l'industrie en admet les faiblesses et les contrebalances par des facteurs de sécurité suffisamment exigeants. Il arrive que ces fac-

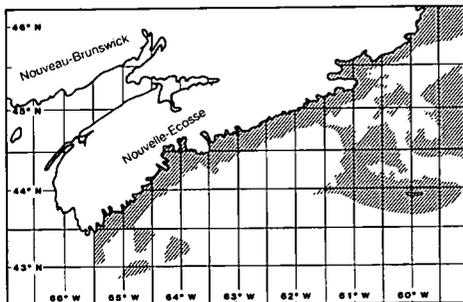


FIGURE 2 Secteur d'exploitation possible avec plates-formes auto-élévatrices au large de la Nouvelle-Écosse. Les parties hachurées montrent la faisabilité opérationnelle probable à longueur d'année en regard des extrêmes sur une période de 100 ans et sous réserve de l'état du fond marin. (Établi par Noble, Denton and Associates)

Données météorologiques types
(Période de retour de 50 ans)

Extrêmes	Golfe du Mexique	Mer du Nord	Côte est du Canada
Vague (pi)	52	60	95
Vent (noeuds)	131	80	88
Courant (noeuds)	1,8	1,0	2,2

TABLE 1

teurs soient trop élevés. Par exemple, des recherches récentes sur les contraintes dues au vent révèlent qu'elles sont généralement surestimées dans le cas des semi-submersibles, en raison du fait que bon nombre de théories ne tiennent pas compte de l'effet d'écran pas plus que des forces de portance tant au-dessus qu'en dessous de l'eau. Les données actuelles indiquent que les contraintes dues au vent peuvent être moindres que les contraintes calculées, ce qui signifie que le facteur de sécurité est supérieur en réalité à celui qui est établi. Cela pourrait également signifier que l'on pourrait augmenter le poids des charges variables de quelque 400 ou 500 tonnes sur une semi-submersible sans affecter pour autant la sécurité de cette dernière.

Quantité de recherches restent à faire concernant les effets combinés du vent et des vagues sur les semi-submersibles. Au Canada, la soufflerie d'essai des couches limites de l'Université Western Ontario et dont on a récemment terminé la construction offre, sous la direction de M. Alan Davenport, une occasion unique de mener des recherches de ce genre.

L'ENVIRONNEMENT ET LES INSTALLATIONS AUTO-ÉLÉVATRICES

Les facteurs environnementaux revêtent également une importance non négligeable lorsqu'il s'agit d'unités de forage auto-élévatrices. Plusieurs plates-formes de ce type sont exploitées au large de la Nouvelle-Écosse et il se peut qu'elles soient utilisées dans d'autres parties du secteur faisant l'objet de l'étude de la Commission royale.

Dans le tableau 1, nous comparons les valeurs types de la vitesse du vent et de la hauteur des vagues au large de la côte est du Canada aux conditions rencontrées dans le golfe du Mexique et dans la mer du Nord. Puisque la force des vagues est habituellement le facteur qui contribue le plus aux contraintes globales auxquelles une unité est soumise dans un endroit donné, on peut constater que les conditions météorologiques au large de la côte est du Canada sont probablement pires que partout ailleurs où l'on a déjà exploité des unités auto-élévatrices.

De toute évidence, les plates-formes auto-élévatrices construites jusqu'à présent ne pourraient pas résister à l'impact d'un iceberg. Dans les secteurs où il est possible d'en rencontrer, la probabilité d'un tel événement doit être calculée et se situer sous un niveau de risque acceptable. Les calculs doivent prendre en compte les conditions météorologiques requises pour que l'unité relève ses montants et se dégage de la trajectoire de collision de l'iceberg. En règle

générale, pour abaisser et relever les montants, on doit disposer d'une période d'accalmie pendant laquelle les vagues n'excèdent pas 5 pieds environ. Il existe au moins un dispositif, désigné SeaTek Slo-Roll System, qui stabilise le mouvement d'une plate-forme auto-élévatrice et qui permet de descendre et de remonter les montants dans des vagues pouvant atteindre 15 pieds. La *Glomar Labrador I*, actuellement exploitée au large de la Nouvelle-Écosse, est équipée d'un tel système.

Pour tenir compte des facteurs environnementaux dans la conception d'une installation auto-élévatrice, un architecte choisirait, à peu près certainement, une ou deux profondeurs d'eau, une ou deux hauteurs de vagues et une distribution de la vitesse du vent. Le concepteur d'une installation auto-élévatrice ne pourrait pas tenir compte de toutes les parties du monde ni de tous les endroits où une telle unité pourrait vraisemblablement être exploitée pendant sa durée utile. Une unité peut forer en Alaska une année, au Canada l'année suivante, par la suite en Afrique, etc. Dans chacun de ces secteurs, il peut y avoir des problèmes particuliers: vagues énormes, courants forts et fonds marins différents. Les facteurs variables seraient trop nombreux pour être contenus dans un manuel d'exploitation, et les coûts afférents à leur détermination seraient prohibitifs.

Par conséquent, dans le cas d'une installation auto-élévatrice, on doit vérifier que les données spécifiques relatives à l'emplacement d'un secteur sont compatibles avec les paramètres environnementaux établis par les concepteurs. Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des données sur les vents, les vagues et les courants maxima, données fondées sur la norme de l'APGTC relativement aux éléments d'appréciation portant sur un retour de 100 ans fournis par un bureau réputé de météorologues-conseils. Malheureusement, tous les experts possédant les mêmes données ne font pas toujours les mêmes extrapolations et c'est pourquoi nous avons souvent des renseignements incompatibles pour un même site. Cela peut mener à choisir les données météorologiques les moins élevées, ce qui pourrait avoir des conséquences fâcheuses.

Lorsqu'on établit les conditions environnementales extrêmes, il est préférable de préparer un jeu de cartes sur lesquelles figurent les lignes isohypses des phénomènes extrêmes pour l'ensemble du secteur, et de les utiliser comme repères dans le cadre de toutes les études spécifiques portant sur un site en particulier. Si possible, ces cartes devraient être approuvées par un organisme environnemental investi d'un pouvoir de réglementation. La figure 3 montre les

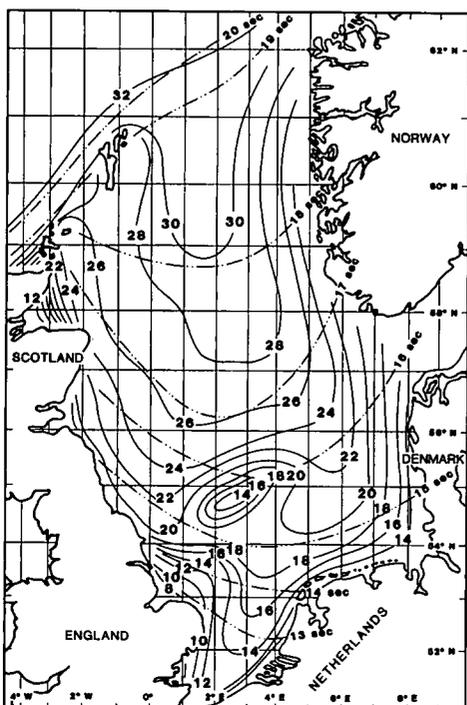


FIGURE 3 Hauteur de vague extrême (en mètres) sur une période de cinquante ans et période de succession des crêtes (en secondes) (Tiré du *North Sea Environmental Guide* avec la gracieuse permission de O.P.L.)

vagues extrêmes ayant un retour de 50 ans au large dans la mer du Nord; ces données ont été colligées par la société pour laquelle l'auteur travaille (5).

Bien que de telles cartes existent pour les variations hydrologiques généralisées au large du Canada, elles ne sont pas encore mises à la disposition du grand public. Étant donné que la conception d'une plate-forme auto-élévatrice est directement fonction de la hauteur des vagues, il est fondamental d'établir ce repère de sorte que les météorologues-conseils ne soient pas tentés de choisir la hauteur la plus faible à un endroit particulier étant donné que cela affecte la sécurité de l'installation.

CONCLUSION

Il est clair qu'à l'étape de la conception les facteurs environnementaux sont de toute première importance, et les paramètres propres au milieu dans lequel se déroule l'exploitation doivent être comparés à ceux qui sont utilisés au départ si l'on veut assurer l'exploitation sécuritaire tant des semi-submersibles que des installations auto-élévatrices.

Bibliographie

- (1) Kuo C., Lee A., Welya Y., et Martin J., «Semi-Submersible Intact Stability-Static and Dynamic Assessment and Steady Tilt in Waves», Conférence sur la technologie offshore 2976, 1977.
- (2) Kallaby, T. et Price, T.B., «Evaluation of Fatigue Considerations in the Design of Framed Offshore Structures», Conférence sur la technologie offshore 2609, 1976.
- (3) Havig, K.M., «New Norwegian Regulations for Semi-Submersible Units», Symposium sur «Les nouvelles générations de semi-submersibles», 17 et 18 mars 1983.
- (4) Capt. A. Blackman et Cowling, G.A., «Construction and Use of Contour Maps of Environmental Extremes», Symposium international sur les variations hydrologiques et le comportement des vents à l'échelle mondiale, avril 1984.
- (5) The North Sea Environmental Guide, Oilfield Publication Ltd., Angleterre.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT B2

G.P. Vance
Adjoint technique
(Projets sur la côte est)
Mobil Oil Canada Ltd.

INTRODUCTION

M. Bainbridge a fait une excellente présentation de quelques-uns des effets que l'environnement peut avoir sur une semi-submersible. Il a également fait état de certaines incompatibilités entre les sociétés de classification de différents pays, et de certaines anomalies pouvant résulter d'une étude superficielle de toutes les variations et combinaisons de sollicitations provenant de l'environnement. S'il y a une faiblesse dans l'exposé, elle est caractéristique des publications des sociétés de classification, c'est-à-dire que M. Bainbridge n'explique pas le raisonnement à partir duquel sont déterminés les critères fondamentaux, les facteurs de sécurité et les algorithmes de base relatifs aux contraintes. En outre, il inclut comme volet des «autres charges» un facteur particulièrement important dans le secteur septentrional des Grands bancs, soit les sollicitations dues à la glace, mais il ne dit pas comment les sociétés de classification pourraient exiger d'un concepteur qu'il détermine ces charges et en tienne compte dans le calcul de l'échantillonnage.

EXPOSÉ

Pour élaborer sur ce que j'avance, je suivrai l'ordre des sujets traités par M. Bainbridge.

Dans son analyse, l'auteur décrit en termes généraux l'algorithme (LOADS) utilisé pour déterminer les sollicitations ou contraintes imposées à une semi-submersible et provenant du vent, des vagues et des courants. Malheureusement, il ne traite pas des équations fondamentales ni des rapports physiques utilisés pour convertir en charges les sollicitations du milieu. C'est une chose que d'en référer aux règlements d'une société de classification; c'est une autre histoire que de comprendre ce qui sous-tend ces règlements. M. Bainbridge, avec toute la compétence et l'expertise qu'on lui reconnaît, aurait rendu un fier service aux concepteurs et à la Commission s'il avait mis en équation les rapports physiques fondamentaux et les charges prévues sur la structure. Il aurait pu ainsi démontrer l'effet qu'auraient sur les charges des erreurs dans les coefficients de traînée, les coefficients d'inertie, les longueurs et les périodes des vagues.

Dans la partie traitant des «autres char-

ges», M. Bainbridge précise certaines des autres contraintes qu'il faut prendre en compte. Les sollicitations dues au givrage et à la glace, et qui sont surtout évidentes dans le secteur des Grands bancs, sont particulièrement intéressantes. Il importerait de pouvoir comparer d'une part les conditions spécifiques des glaces, par exemple glace solide, glace fragmentée, et d'autre part la contrainte imposée. Un guide sur les charges dues au givrage, le rythme auquel elles s'accumulent, l'épaisseur maximale admissible et l'endroit de l'accumulation, serait très utile.

L'auteur fait remarquer que les règlements gouvernementaux ne donnent généralement pas de directives sur l'échantillonnage de base acceptable dans l'idée que l'unité sera classée par une société de classification reconnue. C'est un détail important dans un pays tout juste en train d'établir sa réglementation. M. Bainbridge indique également que les critères de conception sont, dans les faits, des limites relatives aux critères environnementaux associés aux limites opérationnelles, combinées à des facteurs de sécurité admissibles. En d'autres termes, il entre dans la conception une grande part de jugement technique.

L'auteur décrit deux critères de conception: conditions de survie et conditions d'exploitation. Il indique que les conditions de survie sont fondées sur la tempête dont la période de retour est de 50 ans. Il serait intéressant de connaître le raisonnement que la Lloyd's a fait pour en arriver au choix de la tempête de 50 ans et non de celle de 100 ans; il serait également intéressant de savoir si la tempête de 50 ans équivaut à la vague de 50 ans ou au courant de 50 ans. Je constate que les autres sociétés de classification utilisent une période de retour plus longue. Il serait également intéressant de comprendre pourquoi le système d'amarrage doit être conçu selon les maxima concurrents relatifs au vent, à la vague et au courant dans le cap le moins favorable plutôt qu'en fonction d'une certaine probabilité de combinaison de ces facteurs.

L'auteur souligne la contradiction entre la recommandation RP2P de l'API qui préconise l'usage d'un vent d'une minute, et celle du DNV qui suggère un vent d'une heure, la différence résultant en une diminution de 30 % dans la tension statique des amarres. L'auteur peut-il nous indiquer laquelle choisir, et pourquoi?

Les données fournies par l'auteur sur les études de sensibilité ayant trait aux variations des contraintes en fonction de la hauteur et de la direction des vagues nous éclairent. La figure 9 indique une augmentation importante de la contrainte dans les éléments transversaux lorsque les vagues les frappent par le travers. Cela signifie-t-il

qu'une semi-submersible symétrique serait plus résistante qu'une installation rectangulaire en raison d'une meilleure répartition des contraintes dues aux changements dans la direction du vent?

À la figure 11, M. Bainbridge démontre qu'en vertu des règlements de la Lloyd's les contraintes maximales que subissent les éléments de contreventement se produisent dans les conditions de survie; cependant, il n'est pas évident qu'elles se produisent à une hauteur de vague inférieure à la hauteur maximale. Si tel est le cas, l'auteur pourrait-il expliquer pourquoi cela se produirait dans les conditions de survie et non dans les conditions d'exploitation ou de transit? Il n'est pas hors de propos de faire remarquer que si l'on permet une contrainte admissible différente à des tirants distincts, on peut déduire, à partir de la figure 11, que les contraintes maximales se produisent dans les conditions d'exploitation et NON PAS dans les conditions de survie.

Il est révélateur de constater, à partir de la figure 17, que la majeure partie des dommages en fatigue ont été mis en équation avec des hauteurs de vagues relativement faibles (3 à 6 m) dont les périodes vont de 6 à 10 secondes en passant par le point zéro; néanmoins, l'auteur pourrait-il préciser ce que signifient les chiffres inscrits dans les carrés du diagramme de dispersion?

Autre irrégularité signalée par l'auteur: la différence dans les normes de soudage de l'*American Welding Society* et du *Department of Energy* du Royaume-Uni, et l'incidence qu'elle a sur la détermination de l'ensemble des dommages pouvant survenir. L'auteur pourrait-il commenter le sujet, particulièrement sur la base du mandat qu'a la Commission de faire des recommandations en matière de lignes directrices et de critères?

Pour résumer et en guise de conclusion, l'auteur a fait un bon travail en ce qui concerne les sollicitations provenant de l'environnement qu'il faut prendre en compte dans l'analyse d'une semi-submersible, mais il n'a pas expliqué de quelle façon les critères de conception pourraient refléter les facteurs environnementaux. Il a fourni de bonnes explications sur la sensibilité des sollicitations de l'environnement en regard de la hauteur, de la période et de la direction des vagues, et enfin, ce qui n'est pas moins important, il a fait état des incompatibilités entre les différentes normes et lignes directrices appliquées à l'échelle mondiale.

Résumé de la discussion générale

Le président de la séance, M. R.A. Hemstock, a amorcé la discussion en soumettant une question écrite de G.L. Hargreaves (Consultant, Royaume-Uni) concernant l'application, par les ingénieurs, des courbes S/N (contrainte nominale) publiées par le ministère de l'Énergie du Royaume-Uni, en tenant compte du problème de la «durée utile en fatigue» au cours du processus de la conception. M. C.A. Bainbridge (Lloyd's Register of Shipping) a répondu que l'interprétation des courbes telles qu'elles existent présentait des problèmes surtout lorsqu'on les appliquait à des structures offshore où les contraintes sont imputables aux vagues plutôt qu'aux «charges connues» répétées. M. Ray Street (Hollobone, Hibbert) a demandé si les recherches courantes effectuées par le Royaume-Uni sur la fatigue et les courbes de fatigue sont satisfaisantes, compte tenu de l'appui financier accordé. M. Bainbridge a fait savoir que l'on est en train d'adopter de nouvelles courbes mais qu'elles s'appliquent uniquement aux joints tubulaires.

M. R.B. Wardlaw (CNRC) a parlé de l'importance des contraintes dues au vent dans la conception de la structure du fait qu'elles ont une incidence sur les charges résultantes imposées aux amarres et sur les fréquences naturelles de mouvement de la plate-forme. Il a également souligné l'importance d'une interprétation exacte du vent (ou de la vague) ayant une période de retour de 100 ans, et il a précisé que cela signifie qu'il y a une probabilité sur 100 qu'un tel vent (ou une telle vague) se produise pendant une année.

M. B.P.M. Sharples (Noble, Denton) a convenu qu'il importe de tenir compte des contraintes dues au vent, et qu'un vent qui varie entraîne des charges pouvant avoir un effet de fatigue sur la structure. La *Society of Naval Architects and Marine Engineers* (SNAME) mène des recherches en ce sens, particulièrement sur l'incidence que le vent a sur le comportement des semi-submersibles. Il a fait remarquer qu'on devait cependant s'assurer que les nouvelles données sur les contraintes dues au vent ne modifient pas les pratiques courantes dans d'autres domaines de la conception des structures.

M. G.P. Vance (Mobil Oil Canada) a demandé à M. Bainbridge si une semi-submersible symétrique à poutre-caisson, comparée à une autre à deux pontons, serait plus efficace structurellement parlant. M. Bainbridge a répondu qu'il a été démontré qu'une telle configuration non carrée présentait de meilleures caractéristiques de

mouvement et offrait moins de résistance pendant le remorquage.

M. F. Dello Stritto (Mobil Oil Canada) a allégué que l'attitude sceptique des océanographes, des architectes navals, des ingénieurs en charpentes et des concepteurs est saine face aux données relatives à l'environnement (particulièrement les hauteurs de vagues) en ce sens qu'elle suscite l'élaboration d'une méthode de révision intrinsèque pendant tout le processus de la conception. Il en résulte également que ces spécialistes peuvent analyser ces données de façon plus critique et faire preuve de prudence dans leurs estimés des contraintes dues aux vagues, au courant et à la glace. Ceux qui utilisent des données connaissent les disparités inhérentes à leur saisie et aux méthodes d'analyse et, par conséquent, ils sont prudents lorsqu'ils s'en servent pendant le processus de la conception. M. Sharples convient avec M. Dello Stritto que les données sur les hauteurs des vagues présentent un problème, particulièrement lorsqu'on doit faire approuver une unité pour un secteur spécifique, par une autorité investie d'un pouvoir de réglementation qui doit également interpréter ces données.

Pour ce qui est des carences des méthodes de prévisions météorologiques, M. Dello Stritto fait remarquer que l'impossibilité actuelle de prévoir les tempêtes à moyenne échelle peut avoir un effet désastreux sur les navires et les structures offshore. Il a indiqué que l'utilisation faite par M. Ford de la gamme de 60 à 140 noeuds dans l'estimé du vent ayant une période de retour de 100 ans dans le champ Hibernia donne une fausse impression parce que les méthodes disponibles peuvent fournir une gamme de prévisions bien moins vaste. M. V. Swail (Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada) a fait remarquer que l'étude du climat, dont il est co-auteur, cite la gamme de 60 à 140 noeuds sur la base que les documents disponibles publiés fournissent des valeurs sur toute cette gamme. Il a convenu qu'elle serait réduite si l'on utilisait les connaissances et les méthodes actuelles, mais la réduction se limiterait à la moitié de la gamme.

M. Dello Stritto a également critiqué l'absence de réglementation canadienne obligeant les opérateurs qui prévoient exploiter une plate-forme auto-élevatrice de soumettre des données relatives à des trous de sonde pour l'emplacement choisi. Il a souligné que la majorité des sociétés obtiennent, de fait, des échantillons de sondage dans l'endroit choisi, malgré l'absence d'une telle réglementation. Tout en conve-

nant de la logique d'un tel règlement, il a également fait une mise en garde contre le fait qu'une telle exigence aurait aussi pour résultat d'émousser l'intérêt de l'exploitant. M. L. Brandon (APGTC) a fait remarquer qu'une directive, non pas un règlement, existe pour obliger le géologue à l'emploi de l'exploitant à soumettre à l'APGTC un rapport sur le fond marin en cause et à se trouver sur place pendant l'ancrage de l'installation auto-élevatrice. M. Brandon a également fait valoir que cette forme de réglementation place le fardeau de la responsabilité sur l'industrie, procédé qui a reçu l'appui de M. G.R. Harrison dans son allocution d'introduction.

M. W.H. Michel (Friede & Goldman) a ajouté que les concepteurs ont d'autres problèmes en ce qui concerne la définition des données sur la hauteur des vagues: cette hauteur est-elle mesurée à partir de la crête jusqu'au creux de la plus haute vague, ou représente-t-elle la double amplitude d'une crête? M. L. Draper (*Institute of Oceanographic Sciences*, Royaume-Uni) n'a pas corroboré la deuxième définition avancée par M. Michel et il a affirmé que les océanographes n'utilisent que les hauteurs mesurées de la crête jusqu'au creux de la vague. M. Michel a toutefois rétorqué que les concepteurs sont pris dans ce dilemme et il a souligné que c'est l'amplitude des vagues qui donne naissance aux caractères distinctifs de la force et du mouvement dont il faut tenir compte à l'étape de la conception.

M. Swail a élaboré sur les contraintes dues au vent et il a dit craindre qu'on ne leur donnât pas suffisamment d'importance. Il a fait état des recherches en soufflerie en cours à l'Université Western Ontario où les essais réalisés révèlent que les contraintes dues au vent sont, dans certaines conditions, potentiellement tout aussi importantes que celles qui résultent des vagues. M. Sharples a convenu que les effets des contraintes combinées du vent et des vagues sur les semi-submersibles restent encore inconnus et que leur importance justifiait qu'on s'y arrête. M. Wardlaw a fait remarquer que le CNRC s'intéresse aux effets des contraintes dues au vent et qu'il est à mettre au point des essais où les contraintes relatives au vent, aux vagues et au courant seraient mesurées simultanément. Le Conseil national de recherches du Canada serait heureux qu'on lui soumette des observations ou des suggestions sur ce sujet de recherche.

M. Swail a fait part d'un autre facteur d'inquiétude: l'incidence de l'accumulation de la glace, particulièrement lorsque cette dernière est combinée aux contraintes

imposées par le vent et les vagues. Ces contraintes combinées pourraient avoir de graves répercussions sur la sécurité tant du personnel de pont que sur l'ensemble de la structure de la plate-forme.

M. J. Benoit (Mobil Oil Canada), devant les craintes exprimées par M. Ford relativement aux bergy bits et aux bourguignons et à leur détection par radar, a expliqué que l'industrie, conjointement avec la Patrouille internationale des glaces, a découvert que ces blocs de glace de moindres dimensions qui peuvent se désagréger en moins d'une journée sous l'effet de la température de l'eau et par l'action des vagues, ne sont pas dispersés au hasard mais se trouvent presque toujours regroupés dans le secteur de l'iceberg dont ils se sont détachés. Cela signifie que les bergy bits peuvent être plus facilement repérés. Les recherches menées grâce au Fonds renouvelable réservé à l'étude du milieu visent l'amélioration des techniques de détection des grands icebergs et des blocs de moindres dimensions. M. Ford a fait remarquer que les gammes de détection radar des icebergs sont fondées sur des calculs théoriques qu'il est nécessaire de vérifier sur place pendant les recherches.



W. Michel
Vice-président
Friede & Goldman Limited

M. Michel, architecte naval, possède une vaste expérience du génie et de la construction techniques. Il travaille depuis 23 ans pour Friede & Goldman Ltd. à titre de responsable de la recherche et du développement pour tous les types de bâtiments maritimes. Il mène également des études structurales et hydrodynamiques détaillées pour la construction de nouveaux types de navires et la mise au point de nouvelles caractéristiques. Parmi ses spécialités, mentionnons la résistance et la propulsion des bateaux, le comportement du milieu marin et l'analyse hydrodynamique et structurale de pointe. M. Michel a fait partie de nombreux comités du SNAME, groupe dont il est membre; il est actuellement membre du Comité des règles de l'ABS pour les unités mobiles offshore.

DOCUMENT C1

Principes et processus de conception de la sécurité des opérations en mer

INTRODUCTION

Afin d'étudier les principes de conception de la sécurité des opérations en mer, il faut se reporter aux méthodes qui existent depuis deux décennies, dont certaines se sont révélées sensées et pratiques et dont d'autres demeurent douteuses bien qu'elles soient expéditives et vraisemblablement attirantes. Nous devons d'abord remarquer que les premiers règlements et règles concernant les MODU ont été établis par l'industrie elle-même. Il s'agit d'un ensemble de principes et d'énoncés présentés collectivement par les concepteurs, les propriétaires et les exploitants d'unités de forage offshore à l'*American Bureau of Shipping*, à des fins d'administration et de certification. Le premier ensemble de règles de l'organisme concernant les MODU a été établi en 1968 et a servi de base à tous les règlements promulgués à travers le monde par la suite.

Pendant les années qui ont suivi, il y a eu un certain nombre de modifications et d'éclaircissements des règles résultant de l'expérience et d'une plus grande importance accordée aux exigences de base. Cependant, on n'a pas suffisamment pris en considération tous les aspects importants de la structure et de la stabilité, et la recherche a été sporadique. C'est seulement suite aux catastrophes récentes qu'on a concerté les efforts pour faire un nouvel examen des principes et du processus de conception des unités mobiles offshore.

Dans notre exposé, nous présentons un certain nombre de caractéristiques et de pratiques de conception applicables aux plates-formes semi-submersibles et auto-élévatrices, caractéristiques et pratiques que nous avons élaborées au cours de plusieurs décennies d'activité dans ce domaine en vue de produire une structure solide capable de supporter les conditions environnementales auxquelles elle est soumise. Comme tel, on peut considérer cet exposé comme une suite de l'exposé n° 14 du *Design-Inspection-Redundancy Symposium*, qui a eu lieu à Williamsburg (Virginie) en novembre 1983 et qui a fait ressortir la nécessité de recherches plus poussées sur les structures et la stabilité, d'un meilleur contrôle de la construction et de l'inspection, et d'un nouvel examen de certains énoncés théoriques d'importance vitale.

Aux fins de consultation immédiate, nous reprenons le résumé et les conclusions de ce document (référence 1). Nous avons pré-

senté une vue d'ensemble des principaux secteurs problèmes reliés à la conception, à l'inspection et à la redondance, en insistant sur les aspects les plus urgents. Les interventions requises vont de la simple révision, à laquelle il faut d'abord se consacrer à l'analyse et la recherche poussées sur les aspects qui ne sont pas encore bien compris. Les aspects suivants doivent être pris en considération:

1. Il faudrait résoudre certains problèmes comme la nécessité d'unifier et d'accorder davantage les énoncés concernant l'échantillonnage des cales à eau pour semi-submersibles et d'inspecter plus rigoureusement les ouvrages pendant la construction.
2. Il faut faire une nouvelle analyse approfondie des exigences concernant les poutres-coques, particulièrement en ce qui a trait à la stabilité structurale des coques supérieures de faible échantillonnage, en présence d'ouvertures multiples.
3. Des travaux de recherche concernant la fatigue sur un nombre de cycles élevé, particulièrement en ce qui a trait à l'établissement de relations S-N pour les types particuliers de détails de fabrication utilisés dans les plates-formes flottantes.
4. Il faudrait poursuivre la mise au point de méthodes de la mécanique des ruptures en vue de prévoir la fatigue sur un petit nombre de cycles. On recommande de faire des études statistiques sur l'importance et la nature des vices qui risquent de passer inaperçus lors de l'inspection en cours de construction et qui sont découverts lors d'examen ultérieurs.
5. Des essais et des analyses plus poussés s'imposent pour comprendre les effets du vent sur les semi-submersibles; il est également nécessaire d'effectuer des travaux de recherche sur les effets combinés du vent et des vagues en vue d'établir des critères appropriés.
6. Il est nécessaire de mettre au point des méthodes plus précises pour étudier les charges dues aux vagues et leurs effets sur la structure des unités auto-élévatrices soumises à des conditions environnementales hostiles en eaux profondes. On estime qu'il est essentiel de faire des essais sur modèles de plates-formes auto-élévatrices en position élevée en vue de déterminer les paramètres d'amortissement et d'amplification et finalement de faire une analyse spectrale.
7. Il est nécessaire de faire une étude complète basée sur les techniques d'analyse du risque en vue de justifier les exigences de redondance en ce qui a trait à la perte d'éléments importants, par exemple une jambe complète de plate-forme auto-élévatrice, un caisson ou une coque de semi-submersible, etc.

SEMI-SUBMERSIBLES

Considérations générales relatives à la structure

La figure 1 montre la configuration classique d'une semi-submersible à coques jumelles. Il s'agit d'une plate-forme «Pacesetter» mise au point par notre société. La première unité, construite pour la société Western, a été terminée en 1972; depuis, on en a construit plus de vingt autres. Sur la figure, on voit trois caissons montés sur chaque coque et un ensemble complet d'entretoises horizontales et diagonales supportant un pont de plate-forme à poutres en treillis. Certains modèles construits par d'autres sociétés comprennent quatre caissons de chaque côté et certains (avec une structure de coque supérieure pleine) en comprennent seulement deux par côté.

Notre principe de base a été d'utiliser une structure triangulée afin de réduire les moments de rotation aux points critiques, moments qui se manifestent par exemple lorsqu'on utilise des portiques et des poutres Vierendeel, particulièrement sous l'effet des charges latérales. Dans certains cas, pour lesquels nous avons utilisé des coques rectangulaires pleines comme structure supérieure, nous avons éliminé les entretoises diagonales dans la direction longitudinale, mais seulement après un examen détaillé des niveaux de contrainte possibles sous l'effet de charges environnementales extrêmes. À cet égard, on peut remarquer que pour la *Castoro 6* utilisée pour la pose de canalisations, qui a une coque supérieure pleine et des coques inférieures, ainsi que cinq caissons de chaque côté (presque deux Pacesetter placées bout à bout), on a jugé nécessaire d'ajouter des entretoises à chaque travée longitudinale afin de réduire les contraintes de flexion qui autrement s'exerceraient sous l'effet de la charge de flexion longitudinale classique de l'unité. De toute façon, en raison de la charge latérale élevée qui peut s'exercer sur une semi-submersible exposée au mauvais temps, nous croyons essentiel d'ajouter des entretoises diagonales orientées de façon adéquate en vue d'offrir une résistance aux contraintes de flexion excessives qui se développent aux endroits critiques. Nous n'avons pas la témérité de les éliminer entièrement.

Pour déterminer les charges dues aux vagues qui seront utilisées dans l'analyse de la structure tridimensionnelle, nous nous basons dans une large mesure sur des essais sur modèles pour établir les déplacements et aussi pour enregistrer directement les forces et les moments exercés sur les éléments de structure dans les pires conditions de la mer, au tirant d'eau de survie ainsi que dans les conditions de mer spécifiées pour les modes de transit et de forage.

Pour tout changement appréciable des dimensions, bien que la configuration générale puisse être la même, nous effectuons de nouveaux essais afin de confirmer toute projection analytique qui a pu être faite pour l'évaluation préliminaire. À partir de ces données ainsi que des charges de service et d'exploitation, nous analysons une vingtaine de combinaisons de charges différentes, couvrant la gamme des situations prévues afin d'établir la validité de la structure globale.

Coques et caissons inférieurs

Normalement, nous déterminons les dimensions du bordé et de la membrure de l'enveloppe et des cloisons des coques et caissons inférieurs en nous basant sur les cales à eau. En général, l'échantillonnage résultant est assez élevé pour que ces éléments puissent jouer efficacement le rôle d'éléments de structure tridimensionnelle aux niveaux de contrainte nominale à l'intérieur des limites admises (sauf aux intersections coque-caisson-entretoises qui sont soumises à de fortes charges et qui doivent habituellement être renforcées).

Dans notre façon de procéder, nous établissons cet échantillonnage en nous basant sur la hauteur totale jusqu'à la partie supérieure du trop-plein (plus la hauteur équivalente de perte de charge) plutôt que sur la hauteur aux deux-tiers normalement acceptée pour les navires de surface, étant donné que les demi-cales à eau sont remplies sous pression à débit élevé et qu'il y a assez souvent un débordement en service. De plus, nous considérons la marge normalement appliquée à l'échantillonnage comme un facteur relevant de l'expérience plutôt qu'une tolérance de corrosion et nous ne réduisons par l'échantillonnage même si toutes les surfaces sont protégées contre la corrosion. Par surcroît, l'épaisseur du bordé extérieur est encore accrue afin de réduire le risque de rupture en cas d'endommagement, car celui-ci serait difficile à réparer aux endroits inaccessibles.

Pour tenir compte davantage de l'importance de maintenir l'intégrité de tous les compartiments dans les coques et caissons, du point de vue de la structure et de la stabilité, les essais de tous les réservoirs doivent, selon nos spécifications, être faits à la pleine hauteur du trop-plein, afin d'assurer une construction solide et une conception adéquate.

Éléments de contreventement à l'horizontale

Ces éléments sont les parties les plus critiques de la structure d'une semi-submersible car ils permettent de maintenir ensemble les coques inférieures et les caissons. Essentiel-

lement, ce sont des éléments en tension soumis à la charge directe du poids de la partie supérieure et des charges de service, auxquelles s'ajoutent les forces d'amarrage et de propagation des vagues exercées sur les caissons et les coques inférieures. Bien que ces dernières charges soient périodiques et influent sur la résistance à la fatigue, la rupture finale se produit en tension, et il faut accorder une attention particulière à la disposition de ces éléments, tant à l'étape de la conception qu'à celle de la construction, afin de réduire les possibilités de séparation catastrophique des éléments de contreventement. Quant à nous, pour la conception structurale des éléments de contreventement horizontaux, nous procédons de la façon suivante:

1. Les éléments de contreventement sont totalement étanches, et des ouvertures d'accès à l'intérieur des caissons permettent l'inspection à sec de la structure interne sans qu'il soit nécessaire d'élever l'unité.
2. Des dispositifs de surveillance sont installés de façon à permettre la vérification à distance du volume interne des éléments de contreventement, en vue de détecter les fuites d'eau possibles par des fissures.
3. Un certain nombre de longrines en T résistantes sont installées à l'intérieur sur le périmètre de l'enveloppe cylindrique de l'entretoise de contreventement (figure 2). Ces longerons, avec les membrures annulaires requises pour prévenir l'effondrement de l'enveloppe sous l'effet de la pression de l'eau forment un treillis très résistant qui peut réduire les dommages locaux résultant de l'impact des vagues ou des collisions, ou des deux (particulièrement pendant le déplacement). La redondance offerte par ces longrines en vue de limiter la propagation des fissures de l'enveloppe qui peuvent se produire dans une situation de fatigue ou d'avarie est encore plus importante et plus critique. À cet égard, nous précisons en plus que les soudures en bout des longrines doivent être assez décalées par rapport aux soudures en bout de l'enveloppe tubulaire.
4. Enfin, en ce qui concerne les noeuds critiques, l'épaisseur de la plaque d'enveloppe de l'élément de contreventement est accrue et les pièces de renfort longitudinales sont intégrées dans d'épaises plaques à diaphragmes internes qui se prolongent directement dans le noeud en tant que partie de la structure caisson-coque adjacente (figure 3). L'échantillon des noeuds (ou joints) est déterminé de façon que le niveau de contrainte nominale soit approximativement la moitié de la limite admissible en conditions de charge maximale. D'après les analyses détaillées par éléments finis de la structure du noeud résultant, l'intensité de contrainte locale maximale ne dépasse pas la limite admissible et par conséquent, en ce qui



FIGURE 1

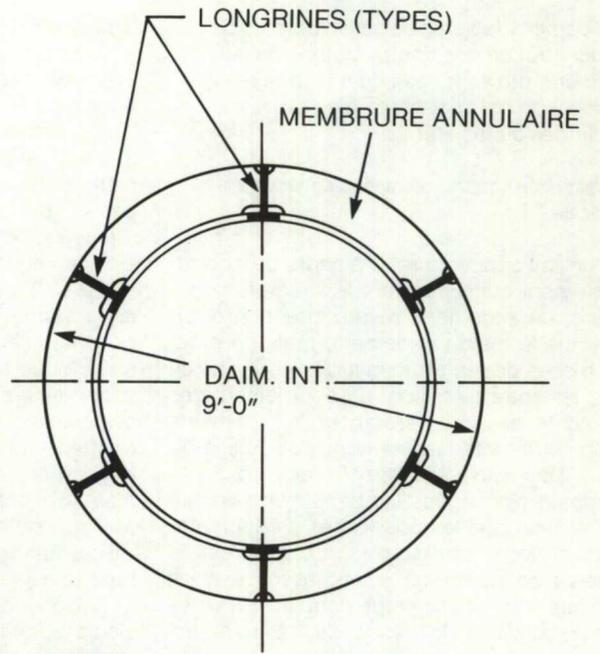


FIGURE 2

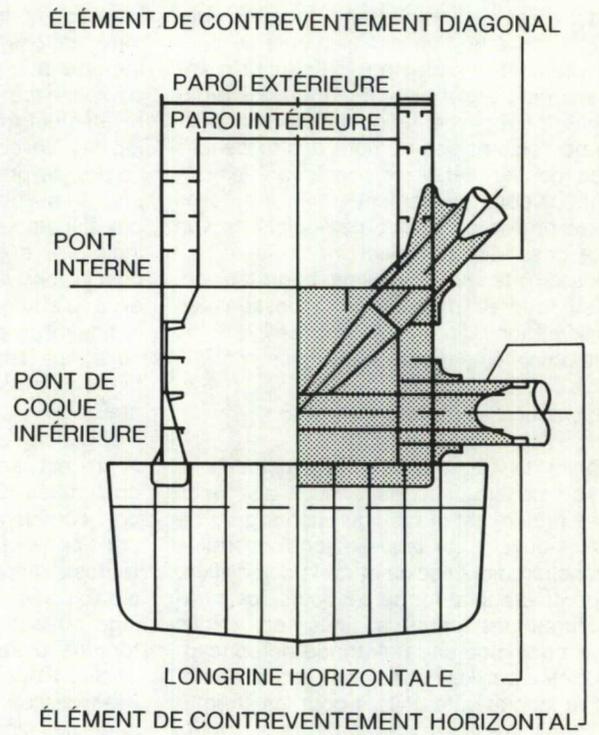


FIGURE 3

concerne la fatigue, les seuls facteurs de concentration des contraintes dont il faut tenir compte sont ceux du soudage et de la fabrication qui sont assez bien évalués à partir des codes établis.

Éléments de contreventement diagonaux à la verticale

En ce qui concerne les éléments de contreventement qui supportent la structure supérieure, on accorde la même attention et on effectue le même traitement, mais on omet les pièces de renfort longitudinales. Dans ce cas, les entretoises sont essentiellement des éléments en compression et les éléments redondants internes ne sont pas obligatoires. De plus, l'intensité des charges d'impact des vagues est beaucoup plus faible et bien que les possibilités d'endommagement local attribuables aux navires de réserve en opération soient assez élevées (et que cet endommagement se produise assez souvent), le risque de désastre est minimal dans la mesure où ces éléments périphériques ne sont pas soumis à des contraintes élevées au cours de ces opérations, et où tout dommage important est rapidement détecté et réparé.

De toute façon, on peut remarquer que le système de contreventement de la *Pacesetter* possède intrinsèquement la redondance qui est maintenant exigée par plusieurs organismes de réglementation et par laquelle la perte d'un des éléments de contreventement, n'entraîne pas l'effondrement de la structure globale. La plupart des organismes de réglementation et de classification ne tiennent pas compte des exigences de conception détaillées concernant les éléments de contreventement individuels, telles que résumées ci-dessus, des points de vue de la possibilité d'inspection, de la redondance à l'intérieur des éléments de tension, etc. Il faudrait prendre ces questions en considération afin de réduire le risque de perte d'un élément de contreventement.

Structure supérieure de la plate-forme

Du point de vue de la structure uniquement, le type de structure supérieure que nous avons préféré est la configuration à grille de poutres ouverte sur laquelle sont construits, en fonction des besoins et de la disposition, les ponts de plate-forme, les roufs, les infrastructures, les parcs à tiges, etc. Nous avons confiance en la méthode de conception dictée par les codes civils et les méthodes de longue date utilisés pour les structures similaires, par exemple les ponts d'autoroute et les poutres de construction, dans lesquelles les configurations de charge sont similaires et les éléments de structure sont conçus en fonction de forces de cisail-

lement élevées et de transferts de moment sous des charges importantes, et des supports des noeuds. Nous avons utilisé ce système pour la majorité de nos unités.

La tendance actuelle est à l'utilisation d'une coque en caisson supérieure complète à l'intérieur de laquelle la plus grande partie de l'équipement de production d'énergie, les installations de forage et de service, et les emménagements sont bien séparés. L'attrait de cette solution tient à une répartition plus uniforme de l'espace du pont supérieur utilisable pour le stockage du matériel de forage et les opérations, et une zone généralement plus abritée pour les systèmes ainsi qu'une meilleure protection contre le vent et le froid. (Cela vaut pour les régions septentrionales, mais cet avantage n'est pas aussi apprécié dans le golfe du Mexique ou les autres régions chaudes.)

Son principal objet, cependant, est de répondre plus facilement aux exigences de flottaison des derniers règlements de plusieurs autorités européennes concernant la stabilité en cas d'avarie.

Du point de vue de la structure, cependant, il n'est pas certain que la coque en caisson supérieure pleine puisse supporter les contraintes de service et environnementales auxquelles elle est soumise. Elle est rigide hors de doute, et c'est pourquoi de nombreux concepteurs sont tentés d'éliminer les éléments de contreventement, ce qui peut donner lieu à des contraintes (et à des déformations) locales élevées aux noeuds importants. Il n'existe pas de facteur d'expérience de base pour les caissons à revêtement très mince soumis à des charges locales élevées de portée et de soutien, de l'ordre de grandeur que l'on retrouve dans une semi-submersible type. Les analyses par éléments finis sont les seules méthodes indiquées et elles peuvent conduire à des conclusions faciles dans lesquelles on peut avoir élaboré un modèle en omettant un panneau de pont important ou une grande ouverture dans une cloison vitale, ou avoir fait une omission similaire qui peut être critique.

Cependant, la coque en caisson supérieure est bien implantée. Pour nos unités construites sur ce principe, nous établissons une configuration en grillage des cloisons principales et du pont associé et des «membrures» inférieures de bordé de résistance élevée, afin de simuler la structure en grillage ouverte que nous préférons, et nous tentons d'établir (par spécification et inspection) que ces zones demeurent protégées des pénétrations ou des fuites provenant des zones sans renforcement. Nous considérons ce procédé comme une mesure de redondance contre toute fracture ou rupture possible de la «paroi contrainte» de la coque en caisson.

Considérations relatives à la stabilité

Depuis l'établissement du premier ensemble d'exigences concernant la stabilité des unités mobiles, publié par l'*American Bureau of Shipping* en 1968, nous avons essayé d'intéresser tous ceux qui sont touchés par les activités offshore à élaborer des exigences qui tiennent compte de façon plus rationnelle et plus précise des effets de tous les facteurs environnementaux (vent, vagues et courant) plutôt que de continuer à élaborer un critère de vent seulement basé sur des facteurs arbitraires et non corroborés. À part l'unique recherche réalisée au début des années 70 (référence 2) qui a donné des résultats précis favorisant une étude plus approfondie, l'industrie n'a manifesté que peu d'intérêt pour d'autres travaux de recherche. Il nous semble que du point de vue de la sécurité en mer, les organismes de réglementation gouvernementaux et les organismes de classification, à défaut d'autres organismes, auraient eu besoin d'établir un ensemble de critères adéquat. Nous poursuivons nos efforts dans ce sens.

En ce qui concerne les propositions et règlements nouveaux en matière de stabilité en cas d'avarie, nous approuvons l'exigence voulant qu'à la suite de l'endommagement d'un (en réalité de deux) compartiment, l'unité ne doive pas s'incliner de plus de 15 degrés et que tous les systèmes de sauvetage importants restent en opération et efficaces, y compris le ballastage. Cette restriction est appropriée et est équivalente à celle qui est appliquée depuis longtemps aux navires à passagers, dans laquelle une inclinaison de 15 degrés est considérée comme un angle limite pour les opérations d'urgence et la sécurité du personnel.

Cependant, nous n'arrivons pas à comprendre la validité ou la raison d'être de la proposition selon laquelle en cas de perte de flottabilité catastrophique (généralement la perte d'un caisson), l'unité doit supporter un angle d'inclinaison de 35 degrés (le nombre magique) et que des mesures doivent être prévues à bord pour la ramener à une position plus maîtrisable. D'après l'expérience acquise avec les unités qui ont déjà réellement ou vraisemblablement répondu à ces exigences, nous avons constaté que certaines des mesures nécessaires entraînent un plus grand risque de perte dans des circonstances plus probables; par exemple, la restriction des voies d'évacuation normales (la seule voie acceptable étant vers le centre du puits – j'ai bien dit le centre du puits!).

Nous avons dû étudier ces dernières exigences dans plusieurs cas pour lesquels des propriétaires de plates-formes ont spécifié leur besoin d'opérer en suivant de tels règlements. Nous l'avons fait avec certains dou-

tes, mais au mieux de nos capacités afin de réaliser l'objectif sans sacrifier indûment les caractéristiques qui rendent l'unité efficace et sûre dans des circonstances plus probables. Nous maintenons notre objection.

PLATES-FORMES AUTO-ÉLEVATRICES

Considérations générales

Les modes d'exploitation, pour lesquels des analyses structurales de différents types portant sur les plates-formes auto-élevatrices doivent être effectuées, peuvent être présentés en ordre chronologique:

1. L'unité est en déplacement (transit) entre deux sites, flotte sur sa propre coque et ses jambes sont complètement relevées.
2. Une fois sur les lieux, les jambes sont abaissées jusqu'à ce qu'il y ait contact ferme avec le fond de la mer puis la coque est élevée à une hauteur à laquelle le préchargement peut être effectué en vue de vérifier la force portante du sol, et elle est finalement élevée jusqu'à la hauteur désignée au-dessus du niveau de la mer et fixée solidement en vue des opérations de forage.
3. Dans sa position élevée finale en vue des opérations de forage, l'unité doit maintenir son intégrité structurale sous l'effet de diverses combinaisons de charges d'exploitation et de facteurs environnementaux (vagues, courant et vent) tel que précisé pour l'endroit donné.

Il est important de remarquer que les pertes les plus graves subies au cours des quelque 25 années d'utilisation de plates-formes auto-élevatrices se sont produites suivant le même ordre décroissant. La plupart des accidents qui ont entraîné des pertes de vie et le naufrage de la plate-forme se sont produits pendant le déplacement de l'unité. Les pertes étaient moins graves (bien que plus nombreuses en ce qui a trait à l'endommagement des jambes) pendant l'abaissement et l'élevation de l'unité. Enfin, il n'y a eu pour ainsi dire aucune perte pendant que la plate-forme était en position élevée dans les conditions environnementales prescrites. Malgré ces considérations, l'importance accordée aux travaux de conception a suivi l'ordre inverse, pour la bonne raison que l'unité est construite dans un but particulier, le forage en position élevée, et que toutes les autres situations sont considérées d'importance secondaire.

Les principes de base devant servir à la conception de la structure sont très bien présentés dans la note de classification sur les plates-formes auto-élevatrices publiée par *Det norske Veritas* (référence 3). Nous nous proposons maintenant de présenter certaines des considérations relatives à la

structure en vue de satisfaire à ces principes en conditions de conception maximales pour les différents modes d'exploitation possibles de l'unité auto-élevatrice. Ces renseignements sont basés sur le type particulier d'unité que nous avons mis au point, la plate-forme auto-élevatrice à trois jambes en treillis triangulaire et à semelles indépendantes, dont l'élevation est réalisée par pignon et crémaillère. La figure 4 montre la configuration type d'une unité de notre série L-780. Plus de vingt-cinq unités de cette série ont été construites depuis 1980.

Unité en position élevée

Lorsque l'unité est complètement relevée, les principaux facteurs agissant sur la structure sont les forces horizontales du vent, de la houle et du courant ainsi que le poids exercé par la partie supérieure comprenant la coque, l'équipement et les approvisionnements. On peut se représenter la configuration globale comme un portique supporté par le fond de l'océan et qu'il faut solidifier dans une certaine mesure aux points de raccordement jambe-coque afin de maintenir la stabilité structurale (figure 5).

En ce qui concerne la création de forces horizontales pour un ensemble de facteurs environnementaux donné, on peut d'abord remarquer que les méthodes de calcul des forces du vent ont été suffisamment confirmées par des essais effectués en soufflerie sur des éléments de coques et de jambes ainsi que sur la structure complète, à ce point qu'il y a peu de place pour la controverse. Cependant, il n'en est pas ainsi pour les forces des vagues et du courant dont les effets combinés deviennent la force prédominante dans des conditions de mer plus hostiles et dans les eaux profondes.

La théorie généralement requise pour les forces des vagues et du courant a été celle des vagues bidimensionnelles régulières, de hauteur finie, en eau peu profonde, du type de la 5^e fonction de Stokes ou fonction de courant, en vue de déterminer les vitesses des particules des vagues auxquelles on ajoute la vitesse du courant (tout à fait aléatoire!), et les forces exercées sur les jambes sont déterminées en fonction de la combinaison de la vitesse et des coefficients de traînée «établis convenablement» pour les éléments des jambes. Tant que les premières opérations avec des plates-formes auto-élevatrices étaient effectuées en eau relativement peu profonde avec une cambrure de la houle et des marées de tempête importantes, cette approche était la seule raisonnable. On a continué d'appliquer cette approche jusqu'à des profondeurs de 300 pieds et plus, mais à ce niveau, on doute fortement qu'elle donne une représentation précise.

Soit parce que cette approche est prudente, soit parce que tous les facteurs environnementaux théoriques n'ont jamais été considérés collectivement dans les essais, le fait qu'il y ait eu un minimum de preuve de pertes dans cette façon de procéder a conduit à un certain relâchement des exigences par plusieurs organismes. Par exemple, dans l'utilisation de cette théorie, un organisme admet un coefficient de traînée de jambe inférieur et un autre accepte des contraintes de jambe calculées s'approchant de la limite élastique du matériau. Nous considérons comme suffisant que nos coefficients de traînée et nos contraintes calculées soient du bon ordre de grandeur et considérons que la prudence des calculs offre une marge de protection contre les événements fâcheux ou les erreurs de construction qui seraient passées inaperçues.

Cependant, pour les profondeurs d'eau dépassant 300 pieds, il est nécessaire de faire une évaluation plus réaliste des effets des vagues et du courant. Lorsque les jambes sont plus longues, la période d'oscillation naturelle de l'unité tend à devenir en harmonie avec les périodes des vagues et la mer elle-même est plus caractéristique du comportement irrégulier en eau profonde. Il faut évaluer ces considérations pour ce qu'elles sont et non en fonction des anciennes règles d'acceptation.

Ce domaine est encore peu exploré, et pour être en mesure de déterminer adéquatement les charges imposées à l'unité, il est essentiel d'effectuer de la recherche et des essais en bassin à l'aide de bons modèles d'unités élevées dans des profondeurs d'eau dépassant 300 pieds, dans des conditions de mer réalistes.

Revenons à la structure elle-même. Nous constatons que la zone la plus critique et soumise aux plus fortes charges est le raccord jambe-coque, où des moments importants doivent être absorbés sur une distance relativement courte. Ainsi, dans la plupart des types d'unités, où la charge verticale est supportée par les pignons du système élévateur, les moments des noeuds sont absorbés dans des réactions horizontales élevées aux guides des jambes au voisinage du fond et du pont principal de la coque. Ces réactions produisent des charges axiales importantes dans les croisillons des jambes à l'intérieur de la zone de support, et éventuellement des distorsions de la membrure des jambes et des rotations des noeuds des jambes (figure 6).

Pour le type de plate-forme auto-élevatrice à jambes indépendantes, à différentes profondeurs d'eau ou pour différentes pénétrations des jambes dans des sols différents, ou les deux, presque tous les croisillons peuvent être soumis à ces charges de noeud élevées, à un moment ou un autre, et

ils doivent tous être dimensionnés en fonction de ces charges maximales.

Afin de réduire cette utilisation excessive de l'acier, avec le plus grand poids de jambe qui en résulte, notre société a mis au point le système «Rack Chock» de raccordement jambe-coque, dans lequel presque toute la charge de réaction de moment est absorbée verticalement par l'intermédiaire des membrures des jambes, supportées par les cloisons de la coque entourant l'ouverture des jambes, avec une réaction horizontale minimale, sauf pour la charge de cisaillement de la force du vent seule. De plus, il n'y a pas de «rotation du noeud» due aux jeux du système à pignon et crémaillère lorsque le support est assuré par le système élévateur, et ainsi le déplacement latéral sous l'effet de la charge environnementale est réduit, tout comme la flexion secondaire résultante des jambes.

On peut remarquer une autre caractéristique de notre modèle de jambe. Comme le montre la figure 6, nous utilisons le noeud de contreventement à recouvrement au «K» et à l'intersection de membrure. Cette construction est plus coûteuse et elle demande plus de soin lors de l'assemblage et du soudage, comparativement au joint ouvert type avec ou sans support, mais elle est de beaucoup préférable en raison de sa grande résistance et de ses concentrations de contraintes minimales.

On donne une description plus détaillée de nos considérations relatives au modèle de jambe et au support de coque dans le document présenté à Calgary, en juin 1983, à l'occasion du séminaire sur la gestion de la sécurité dans les opérations offshore au large de la côte est du Canada (Université Memorial de Terre-Neuve).

Les exigences de structure concernant la coque touchent les mêmes aspects que dans le cas de la coque en caisson supérieure d'une semi-submersible, qu'on a décrits précédemment. Étant donné qu'ils constituent la poutre supérieure d'un portique, avec des charges d'extrémité et des moments élevés, les échantillons de coque ne peuvent pas être déterminés simplement par la technique de flexion d'une unité classique; il faut pleinement tenir compte de toutes les charges spécifiques en utilisant une méthode d'analyse détaillée par éléments finis. Il faut porter une attention particulière aux zones de support des jambes qui sont soumises à des charges élevées pour bien tenir compte des concentrations des contraintes et de l'évaluation de la fatigue (en mode déplacement et en mode élévation).

De plus, il faut considérer soigneusement la résistance de la poutre-coque dans la transmission des charges entre les jambes afin de s'assurer que sa continuité n'est pas

sacrifiée à la nécessité (ou la commodité) des panneaux, événements et arcades qui semblent proliférer pendant la construction et aussi pendant l'exploitation. Nous pouvons voir sur le plan simplifié de la figure 7 que le trajet principal de la charge a tendance à suivre les cloisons longitudinales qui soutiennent la charge de forage en porte-à-faux. Cette zone risque cependant de présenter de nombreuses découpures de pont et de cloison. Nous effectuons par conséquent des analyses par éléments finis pour deux modèles de structure différents: d'abord une analyse d'une structure entièrement intacte comprenant des ouvertures importantes désignées, en vue de déterminer le trajet probable (ou du moins initial) de la charge et les contraintes; en second lieu, une analyse pour laquelle les cloisons longitudinales principales ont été rendues discontinues (par l'élimination d'une travée par cloison) de façon que le trajet principal de la charge soit sur la périphérie de l'unité, ces zones étant les ballasts latéraux qui ne risquent pas de présenter de grandes ouvertures et qui sont par conséquent considérés intacts.

Contact sur le fond et préchargement

La plupart des dommages accidentels subis par une plate-forme auto-élevatrice se produisent à l'installation (et aussi au départ) entre le moment où les jambes touchent le fond et le moment où la plate-forme est en position élevée, le préchargement pouvant alors s'effectuer (et aussi lorsqu'on essaie de remonter les jambes enfoncées, la coque étant en flottaison).

Le contact sur le fond est une situation assez difficilement contrôlable dans toute grande mer. Les mouvements de l'unité lorsque la coque est en flottaison peuvent occasionner des dommages aux jambes et aux supports des jambes par suite du raclement des jambes sur le fond (roulis et tangage) ou à un impact violent (pilonnement, avec roulis ou tangage), ou aux deux. On a proposé des mesures en vue d'atténuer ces problèmes, par exemple les installations «Slo-Rol» qui réduisent le roulis et le tangage et les amortisseurs résilients qui ont été mis au point en vue de réduire l'impact de pilonnement. Cependant, les exploitants ont manifesté peu d'enthousiasme pour l'utilisation de ces options, quelles que soient les raisons d'économie ou d'exploitation, et on a encore tendance à chercher la fenêtre de conditions météorologiques qui permet d'effectuer ces opérations sans danger et sans changer la configuration des unités. Généralement, la présence ou l'absence de dommages est une question d'expérience et de chance. Dans les instructions générales, on recommande de ne pas effectuer ces

opérations dans des mers dépassant environ six pieds (aucune garantie).

Le préchargement s'effectue lorsque la coque est à distance minimale au-dessus de la perturbation de vague, toutes les citernes de ballastage étant remplies, afin d'exercer sur le sol une force correspondant à la force portante maximale prévisible sous l'effet des charges environnementales prescrites. Souvent, on constate que le sol n'est pas assez résistant et ne peut plus supporter l'unité; celle-ci gîte alors et les jambes sont endommagées. On a mis au point une méthode pour évaluer les possibilités d'endommagement des jambes en fonction de différentes hypothèses de poinçonnement, de différentes profondeurs d'eau, etc.; cette méthode est présentée dans notre exposé (référence 5).

Le départ d'un emplacement est une autre situation dangereuse; on abaisse alors la coque en position de flottaison et on essaie de remonter les jambes. Lorsque les jambes sont enfoncées profondément, ces opérations peuvent prendre beaucoup de temps, et lorsque les forces des vagues et du courant provoquent une oscillation importante de la coque, les jambes peuvent être endommagées.

Toutes ces situations d'endommagement restent courantes, jusqu'à un point où l'élément chance peut être plus important que le jugement fondé sur l'expérience. Heureusement, les dommages qui risquent de se produire touchent des éléments de structure (surtout les jambes) qui peuvent assez facilement être réparés, et les risques de blessures ou de pertes de vie dans ces circonstances ne sont pas grands.

On peut remarquer que dans les incidents produisant des dommages aux jambes, le noeud à recouvrement utilisé pour les croisillons des jambes dans notre modèle n'a pas présenté de défaillance ni même de fissure, malgré le flambement ou la rupture des croisillons, ce qui accroît notre confiance en sa supériorité.

Déplacement

Les désastres les plus importants, qui se sont traduits par des pertes de vie et le naufrage de la plate-forme, se sont produits pendant le déplacement, la coque étant alors en flottaison et les jambes totalement ou partiellement relevées. Certains des premiers désastres ont pu être reliés à l'absence de stabilité de base, à la fissuration de la structure de la coque dans la zone de support des jambes (l'inondation des zones adjacentes n'ayant pu être enrayerée) ou à un manque dans la fixation des jambes qui a entraîné leur rupture. Depuis, on a analysé la plupart de ces situations et on les a réglées en établissant des règlements et

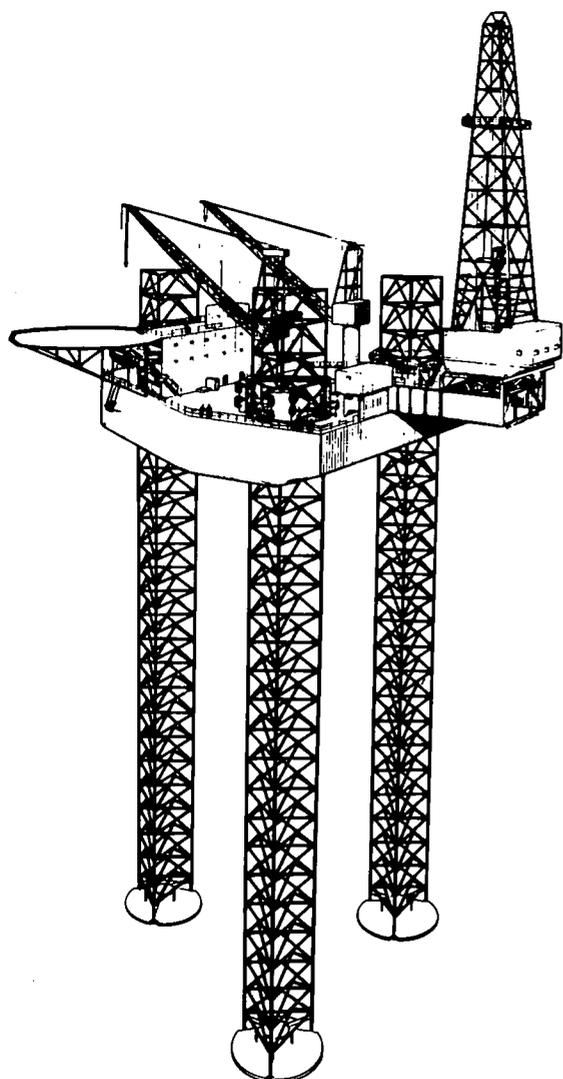


FIGURE 4

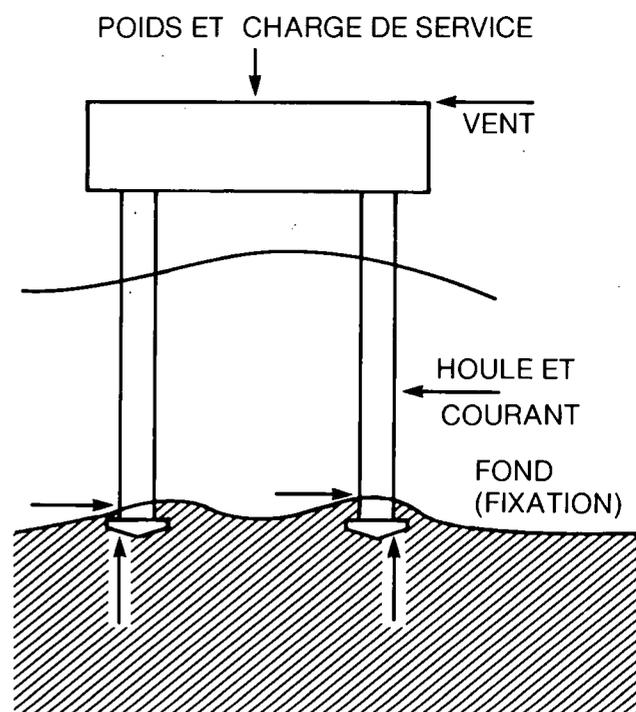


FIGURE 5

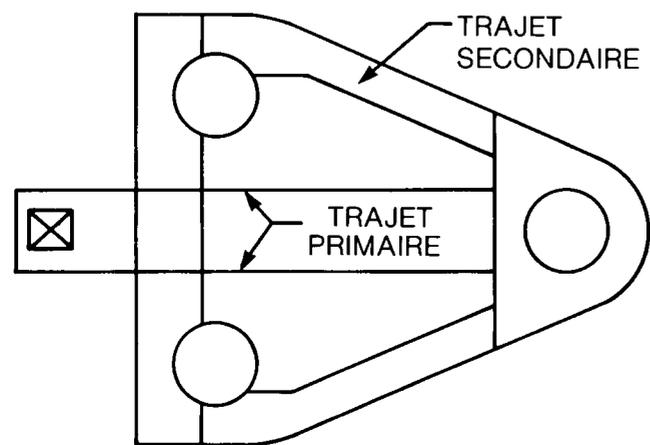


FIGURE 7

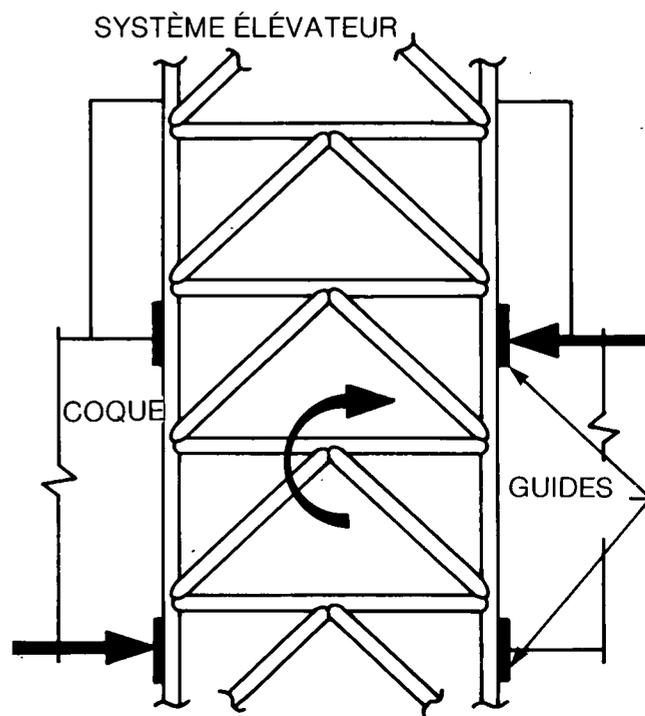


FIGURE 6

des exigences concernant les déplacements. La situation reste cependant précaire en ce qui concerne la flexion importante des jambes et les charges élevées de support des jambes dans des mers qui peuvent donner lieu à des mouvements fâcheux de roulis et de tangage.

D'après les essais sur modèle de nos unités L-780 en flottaison avec leurs jambes complètement relevées, pour une plage de mers très agitées, les forces et les moments maximaux au point de raccordement jambe-coque sont très voisins des critères ABS: 15 degrés, accélération du roulis/tangage de 10 secondes (en conséquence inférieurs aux critères de Noble, Denton: 20 degrés, 10 secondes). Il faut faire une analyse plus poussée en vue de déterminer si les limites applicables à la longueur des jambes ou aux routes suivies, ou aux deux, sont nécessaires en raison des considérations de fatigue de contrainte élevée pour un petit nombre de cycles, qui peuvent causer la rupture des jambes ou la fissuration de la coque. Plusieurs des principaux organismes de réglementation commencent à étudier cette situation, mais aucune méthode définitive n'a encore été établie.

On peut remarquer qu'aujourd'hui la plupart des grands déplacements s'effectuent par «remorquage à sec», l'unité auto-élévatrice étant transportée à bord d'un navire spécial ou d'une barge en forme de navire, afin de réduire le temps passé en mer. Il existe des conditions similaires relatives au roulis et au tangage, selon les caractéristiques de l'unité, ainsi que des éléments de fardage et des garnitures appropriées en vue de réduire les dommages à la coque en présence de conditions de mer extrêmes. Il n'appartient pas au concepteur de plates-formes de réglementer ces opérations, et les détails concernant ce mode dépassent la portée du présent exposé. Quoi qu'il en soit, l'unité doit tôt ou tard flotter d'elle-même et être soumise aux exigences décrites précédemment (et ci-dessous).

Tenue en mer et stabilité, en flottaison

Les critères de résistance des jambes sont assez bien définis pour les déplacements, la coque étant en flottaison dans un environnement hostile, mais les nombreux organismes de réglementation semblent peu reconnaître que la plate-forme auto-élévatrice en flottaison est un navire ayant une mauvaise tenue en mer et exposé à des conditions d'endommagement qui peuvent causer des désastres plus fréquemment que la rupture des jambes.

Avec ses lourdes jambes d'une grande hauteur (que celles-ci soient relevées ou abaissées), l'unité a un moment d'inertie important et elle répond paresseusement

aux vagues incidentes; il en résulte qu'à l'occasion de gros coups de mer, l'eau monte sur le pont. Ce phénomène s'est produit souvent dans le cas d'unités en exploitation et est très évident dans les essais sur modèles réalisés dans un environnement hostile. Il n'est pas certain que les exigences normales relatives au bordé et aux pièces de renfort des devants de roufs de barge soient suffisantes et que ces éléments soient disposés convenablement pour supporter les fortes pressions d'impact qui risquent d'être créées.

De plus, il faut accorder une plus grande attention à la résistance, à la hauteur et à l'emplacement des événements et des trop-pleins des espaces au-dessous du pont, non seulement en vue de supporter les forces exercées mais pour offrir une protection contre l'inondation. À cet égard, les exigences de stabilité considérées normalement (que la structure soit intacte ou endommagée), basées sur un facteur de renversement au vent qui incline l'unité en eau calme, n'englobent pas la situation des coups de mer qui envahissent le pont.

EFFETS DES CONSIDÉRATIONS DE RISQUE ET DE SÉCURITÉ SUR LA CONCEPTION OFFSHORE

On ne devrait pas s'étonner du fait qu'on n'utilise pas l'analyse de risque en bonne et due forme en vue de mettre au point nos modèles offshore ni en vue de justifier leur acceptation. Nous n'essayons pas d'attribuer des facteurs de probabilité à l'environnement, aux opérations ou aux accidents, ni d'établir des niveaux de confiance pour la résistance et le comportement des matériaux et des soudures, ni enfin d'utiliser quelque indice industriel pour les pertes de vies ou de biens acceptables. Ces considérations ne sont pas de notre ressort, ni de notre responsabilité ni de nos droits.

Ce sont les organismes de réglementation qui doivent établir ces critères, codes et jugements sur lesquels nous devons nous baser pour construire nos modèles et vérifier leur validité. Que ces organismes soient des organismes gouvernementaux, des bureaux de classification ou des compagnies d'assurances, et quelles que soient leurs façons d'établir leurs exigences, le concepteur a ensuite l'obligation de s'y conformer.

Nous tenons compte bien sûr de la question de risque et de sécurité dans nos modèles, et nous l'avons toujours fait. Cependant, notre approche a été une évaluation qualitative basée sur l'expérience acquise dans le domaine maritime au cours des années et sur nos connaissances relatives aux opérations de forage offshore. Sur ce plan, nos méthodes, ainsi que celles d'autres concep-

teurs responsables et propriétaires et exploitants de plates-formes, se reflètent pour une grande part dans les règles et règlements qui existent aujourd'hui partout à travers le monde, et nous continuons d'apporter, aux divers organismes de réglementation, une contribution vitale en vue des considérations futures, en tant que membres de comités et de commissions consultatives.

À cet égard, on peut remarquer que les méthodes de conception que nous approuvons n'ont pas toutes été acceptées en tant qu'exigences nécessaires par les organismes de réglementation et, inversement, que les exigences qui selon nous nécessitent une révision ne sont pas réévaluées, comme on pourrait le déduire de notre argumentation dans les premières parties du présent exposé.

Notre approche de la question du risque et de la sécurité est plutôt simpliste. Nous nous posons la question suivante: «Qu'arriverait-il si...», «si» étant le mot clé. Lorsqu'un événement involontaire est plausible et qu'il peut créer une situation précaire, nous essayons de répondre à une autre question: «Que peut-on faire pour prévenir une grande catastrophe?». Quelques exemples illustreront cette approche:

1. «Si un ravitailleur ou un autre objet frappe et endommage un caisson d'une semi-submersible.» Cette situation est plausible et se produit assez souvent, et peut causer une inondation non maîtrisée et une perte de stabilité. Pour parer à cette éventualité, nous exigeons une compartimentation afin de limiter l'inondation et de maintenir la stabilité sous un angle de gîte acceptable, à partir duquel on peut rapidement adopter des mesures pour ramener l'unité à sa position initiale. On peut remarquer que cette mesure a été l'une des premières considérations de sécurité intégrées aux règles de l'ABS de 1968 et qu'elle a représenté la première exigence de stabilité d'endommagement pour toute unité autre qu'un navire à passagers.
2. «Si un caisson d'une semi-submersible perd complètement sa flottabilité.» Arrêtons-nous au «si». Il est impossible qu'un navire (ou un iceberg?) puisse sectionner un caisson sans que le reste de la structure perde une partie de sa flottabilité et de son intégrité; de plus, il n'y a aucune autre éventualité que nous puissions évoquer à cet égard. Il y a eu des pertes de caissons dans plusieurs désastres, mais ces pertes ont été occasionnées par des ruptures d'éléments de soutien, et cette situation a été envisagée dans d'autres «si».
3. «Si un ravitailleur ou un autre objet frappe et endommage une jambe d'une plate-forme auto-élévatrice.» Cette situation est plausible, elle s'est produite, mais pas

très souvent car les exploitants de navires ont appris à l'éviter à tout prix (à leurs dépens). De toute façon, elle est assez probable pour qu'il soit nécessaire de tenir compte de la résistance dans les membrures et les croisillons en vue de maintenir l'intégrité des jambes en cas d'accident de ce genre.

4. «Si un gros navire (ou un iceberg?) frappe et fait s'effondrer une jambe d'une plate-forme auto-élevatrice.» Cette situation est plausible, même si elle a une probabilité extrêmement faible (elle ne s'est jamais produite), et elle occasionnerait l'effondrement de l'unité entière. Il n'y a aucune solution pour les unités à trois (ou quatre) jambes indépendantes actuelles.

Aussi simpliste que soit cette approche, elle est à peu près la seule que nous puissions adopter pour l'instant. C'est seulement lorsque nous disposerons de données statistiques suffisantes sur un assez grand nombre de catastrophes du même genre touchant des unités similaires dans des conditions similaires que nous pourrions commencer à établir une méthode fiable d'analyse du risque. Avec l'aide de la divine Providence, nous accroitrons peut-être nos connaissances et notre sagesse, en vue de construire des unités offshore de plus grande sûreté et fiabilité, à un point tel que l'accumulation des données statistiques susmentionnées ne sera peut-être jamais réalisable, faute d'incidents.

Bibliographie

- (1) W.H. Michel «Synthesis – Floating Offshore Platforms – Problems and Prescriptions, From Design to Inspection» Design – Inspection – Redundancy Symposium, Ship Structure Committee, Novembre 1983.
- (2) Numata, Michel et McClure «Assessment of Stability Requirements for Semi-Submersible Units» SNAME Transactions, 1976.
- (3) «Strength Analysis of Main Structures of Self-Elevating Units» Det norske Veritas, note de classification 31.5, juillet 1983
- (4) John O'R. Breeden of Friede & Goldman, Ltd. «Safety Management of Offshore Operations on the Canadian East Coast – Drilling Structures – Design and Construction I». Université Memorial de Terre-Neuve, Calgary, juin 1983.
- (5) S. Sengupta and John O'R. Breeden of Friede & Goldman, Ltd. «A Method for Punch Through Proof Design for Independent Leg Jack-Ups» Gulf/Texas SNAME Section Meeting, 22 avril, 1983

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT C 1

T. Haavie
Directeur général
Génie sous-marin

M. Michel a présenté un exposé très intéressant qui me rappelle, à certains égards, des décisions que j'ai dû prendre dans des circonstances identiques, au fil des ans. Dans la plupart des cas, je partage ses vues. Toutefois, ma contribution ne serait guère utile si je me bornais à reprendre chacun des points de son exposé pour manifester mon accord. Aussi, vais-je tenter au cours des quelques minutes dont je dispose d'exprimer un point de vue différent sur certaines questions et aussi d'apporter quelques éléments nouveaux.

STRUCTURES (SEMI-SUBMERSIBLES)
CONSIDÉRATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL

J'aimerais aborder sous un nouvel angle la question de la configuration d'ensemble des unités semi-submersibles. Depuis que les installations de ce genre existent, on a conçu et construit des plates-formes à deux pontons et à quatre, six ou huit colonnes. À cet égard, voici l'argumentation qu'on pourrait présenter:

1. Plus les exigences relatives à la charge utile en pontée sont élevées, plus les dimensions des unités doivent être imposantes.
2. Plus les unités sont de dimensions imposantes, plus les points d'appui des ponts et des superstructures doivent être nombreux pour limiter le poids de la structure des ponts au minimum.
3. Des colonnes et des poutres verticales peuvent constituer les points d'appui.
4. Les poutres verticales sont des éléments exposés aux chocs qui n'ajoutent guère à la stabilité de l'unité. Par contre, elles ont un poids relativement peu élevé et constituent des éléments de raidissage efficaces.
5. Il est bien connu que les raccordements entre les poutres et les colonnes des installations semi-submersibles sont susceptibles de poser des problèmes.
6. Essentiellement, les poutres horizontales attachent les socles des colonnes ou les pontons ensemble de façon à former des charpentes fermées. Leur présence réduit les moments de flexion dans la structure des ponts. Ces poutres transversales ont un centre de gravité peu élevé et le fait de les incorporer à la structure des ponts permet en général d'alléger celle-ci. À mon avis, il s'agit là d'éléments très utiles. Ils sont, bien entendu, de bonne dimension et sont exposés aux charges dynamiques, voire au martèlement par endroits, lorsque l'installation est en transit par mer houleuse. Les poutres diagonales sur plans horizontaux sont géné-

ralement destinées à contrer le désalignement longitudinal des pontons. On les appelle souvent «poutres de cisaillement» parce qu'elles absorbent la tension de cisaillement qui s'exercerait autrement sur la structure des ponts. J'estime que ces poutres constituent un atout lorsque l'installation semi-submersible est de dimensions relativement imposantes et, particulièrement, lorsque la structure du pont est «élan-cée».

7. S'il est bien conçu, un coffret de pont plein constitue un élément de structure solide entre les sommets des colonnes. Il est possible, voire essentiel, de prévoir un bon raccordement entre le sommet des colonnes et l'ensemble des cloisons et poutres du coffret de pont. Le coffret de pont plein et étanche présente les avantages suivants:

- Il assure une flottabilité précieuse en cas d'avarie.
- Compte tenu de sa résistance inhérente au cisaillement et à la flexion, il est possible d'éliminer des poutres diagonales à la verticale sur les plans longitudinaux.

Ainsi, dans le cas des petites unités semi-submersibles, on enlèverait les poutres de cisaillement diagonales à l'horizontale près du niveau des pontons et dans le cas de certaines grandes installations, les poutres diagonales à la verticale sur les plans transversaux. En d'autres termes, le concepteur peut se permettre d'élaborer une plate-forme semi-submersible légère comportant un minimum d'éléments exposés aux chocs au niveau des eaux.

À notre avis, le coffret de pont étanche offre une protection des plus sûres contre les risques de chavirement et d'enfoncement.

CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA STABILITÉ
(SEMI-SUBMERSIBLES)

On pourrait aussi s'en tenir essentiellement à la géométrie navale. Que l'installation semi-submersible soit dotée ou non d'un coffret de pont étanche, sa stabilité en cas d'avarie est, dans une large mesure, fonction du nombre de colonnes prévu. Prenons l'exemple de la perte de flottabilité d'une colonne, au tirant d'eau maximum en exploitation, et ce, pour trois unités semi-submersibles différentes, et voyons comment chacune se comportera. Signalons tout d'abord que, si les trois unités semi-submersibles sont différentes (huit colonnes, six colonnes et quatre colonnes) mais que leur poids, la répartition de leur poids, leur déplacement et la hauteur de leurs colonnes sont les mêmes, l'inondation d'une des colonnes se traduira par un angle d'équilibre, dont l'ouverture est plus grande dans le cas de l'unité à quatre colonnes, et

plus petite, dans celui de l'unité à huit colonnes. Toutefois, la modification de la hauteur des colonnes, en supposant que les trois unités soient dotées d'un coffret de pont étanche, peut influencer considérablement sur les résultats.

1. Unité de forage PO99 – 8 colonnes. Une colonne inondée au tirant d'eau en exploitation Angle d'inclinaison ou d'assiette: environ 20 degrés

2. MSV Stadive – 6 colonnes. Une colonne inondée au tirant d'eau en exploitation Angle d'inclinaison ou d'assiette: environ 18 degrés

3. Modèle P007 – 4 colonnes. Une colonne inondée au tirant d'eau en exploitation Angle d'inclinaison ou d'assiette: environ 16 degrés

Comme on peut le constater, le coffret de pont étanche et la correction de la hauteur des colonnes permettent d'obtenir des angles d'inclinaison relativement petits, même dans le cas d'une unité à quatre colonnes dont l'une serait gravement endommagée. On pourrait même mettre des embarcations de sauvetage à l'eau, pourvu que la mer ne soit pas trop houleuse. Cependant, s'il s'agit d'une structure aux dimensions imposantes, les unités à quatre colonnes accuseront alors un angle d'inclinaison et d'assiette pouvant facilement atteindre entre 27 et 35 degrés.

HAUTEURS MÉTACENTRIQUES (SEMI-SUBMERSIBLES)

À notre avis, les hauteurs métacentriques minimales actuellement proposées par les organismes de réglementation ne sont pas assez rigoureuses. On trouvera ci-dessous certaines des raisons pour lesquelles nous croyons que les hauteurs métacentriques établies à l'égard d'une unité semi-submersible, quelles que soient les conditions, devraient être supérieures à 1,5 m. Il est bien connu qu'on constate parfois sur les plates-formes semi-submersibles la présence de charges de 200 à 400 tonnes dont on ignore l'origine. Les spéculations quant à la provenance de cet écart inexplicable entre le déplacement calculé à partir du poids léger, de la charge en pontée, des eaux de ballast, du mazout, des biens consommables, etc., et le déplacement hydrostatique calculé à partir des lectures du tirant d'eau portent principalement sur l'accroissement du poids et la présence d'articles non identifiés à bord. Il ne fait aucun doute que ces charges contribuent en partie à l'écart susmentionné, mais d'autres facteurs tout aussi importants peuvent entrer en ligne de compte.

1. La compression des coques inférieures due à une augmentation du tirant d'eau (qui réduit la flottabilité et fausse, par consé-

quent, l'estimation du volume des eaux de ballast nécessaire pour obtenir un tirant d'eau donné; c'est-à-dire qu'elle donne l'impression fautive que la valeur KG est inférieure à la valeur réelle et mène à une surestimation de la hauteur métacentrique). Des calculs appliqués à l'effet de compression s'exerçant sur les coques inférieures ont révélé que la déviation des bordés (partie centrale) des pontons de l'*Ocean Ranger* étaient de l'ordre de 1 mm et que la déviation des panneaux des pontons, entre les âmes, était d'environ 0,2 mm (ces deux valeurs ont été déterminées en fonction de la pression hydrostatique à une profondeur d'environ 20 mètres). On estime que cet effet de compression, conjugué à l'effet de soudage (contrainte résiduelle résultant du soudage), peut avoir entraîné une contraction de l'ordre de 40 à 50 tonnes au tirant d'eau le plus élevé. Dans le cas d'une installation de l'envergure de l'*Ocean Ranger*, cette contraction n'a qu'une influence minime sur la hauteur métacentrique. Cependant, dans celui d'installations semi-submersibles plus petites qui seraient dotées de plaques plus minces mais auraient à peu près les mêmes écartements et le même tirant d'eau, l'effet pourrait être plus radical, et même avoir des conséquences graves. Aussi faut-il en tenir compte et prévoir une marge dans le calcul des hauteurs métacentriques minimales pour les unités de forage semi-submersibles.

2. L'imprécision du sondage, même par mer calme, lorsqu'on croit que les réservoirs sont vides ou qu'ils sont pleins. Il semble que l'imprécision du sondage des réservoirs ait également de lourdes répercussions sur l'exactitude des résultats des essais d'inclinaison. On le constate aisément dans le cas de l'*Ocean Ranger*, où une marge de plus ou moins cinq pour cent dans l'estimation du contenu d'un réservoir plein peut représenter un écart de poids de quelque 600 tonnes. Afin de mieux contrôler pareilles erreurs et, éventuellement, d'en réduire la fréquence, il serait bon de procéder à des essais d'inclinaison en fonction d'au moins deux tirants d'eau différents (avec un écart marqué entre les contenus des réservoirs) et d'effectuer également un essai supplémentaire sur le rapport déplacement/tirant d'eau en fonction du tirant d'eau des pontons, car les effets susmentionnés pourraient, même avant livraison de l'installation, fausser les calculs qui serviront ultérieurement à l'estimation de la valeur KG et de la hauteur métacentrique.

En phase d'exploitation, d'autres erreurs surviendront inévitablement qui justifient l'établissement d'une marge raisonnable à l'égard de la hauteur métacentrique.

1. Le caractère incertain de toute estima-

tion du poids de la charge en pontée à bord d'une installation de forage semi-submersible en exploitation;

2. L'imprécision du sondage des réservoirs, en particulier pendant les déplacements où l'installation accuse normalement une légère inclinaison;

3. Le fait que de nombreux opérateurs de la salle de contrôle des ballasts n'aient pas rempli les réservoirs «à ras bords», considérant plutôt que ceux-ci sont pleins lorsque les jauges l'indiquent; il en résulte souvent des poches d'air d'un volume considérable. On ne saurait mieux illustrer ce fait qu'en prenant pour exemple le contenu d'un réservoir de 10 mètres sur 14: s'il y a un écart de 0,3 mètre entre le niveau des eaux de ballast et le haut du réservoir, et qu'on présume que celui-ci est plein, cette erreur d'estimation sera équivalente à un poids d'à peu près 45 tonnes, ce qui représente environ quatre pour cent du volume du réservoir. Le fait que le sondage d'un réservoir «plein» donne habituellement des résultats différents après quelques minutes (effet de «décantation») ajoute également à l'incertitude.

Par conséquent, si la hauteur métacentrique d'une installation semi-submersible a été établie, par exemple, à 1,5 mètre, il est fort possible qu'elle soit en réalité de 0,5 à 1 mètre. On connaît bien, aujourd'hui, les dangers de hauteurs métacentriques aussi faibles et, outre le fait qu'elle ne répondrait pas effectivement aux exigences actuelles, l'installation serait exposée aux risques suivants:

1. Le phénomène dû à la houle, qui est plus marquée à faible hauteur métacentrique et peut se traduire par un angle d'inclinaison considérable;
2. La réduction possible de la hauteur métacentrique en position statique par suite d'effets dynamiques;
3. La variation des moments d'inclinaison qui résulte des changements de vitesse et de direction du vent et qui nécessite le recours fréquent au système de ballasts.

OBSERVATIONS FINALES

On pourrait alléguer que l'exigence du NMD quant à la stabilité après avarie en cas de perte de flottabilité d'une colonne entière est aussi absurde que le fait de demander à un concepteur d'avion d'imaginer un appareil qui puisse voler même après avoir perdu une de ses ailes. Toutefois, nous sommes d'avis que l'idée de prévoir une marge de flottabilité est une proposition valable, à condition qu'on évite d'établir un rapport entre un tel critère et toute forme de dommage réel résultant d'un impact violent; autrement, les considérations relatives à la

force de l'impact pourraient mener à des calculs beaucoup trop complexes, sélectifs et peu réalistes.

Le critère de la marge de flottabilité doit demeurer un critère «de réserve» et entrer en ligne de compte dans l'élaboration de tout plan, en guise de protection supplémentaire dans l'éventualité peu probable de dommages qui résulteraient de causes naturelles ou d'une collision avec des rochers, des récifs ou encore d'autres installations d'envergure, flottantes ou fixes. Habituellement, on estime que ces accidents sont si peu probables qu'ils ne se produiront pas. Il conviendrait peut-être de comparer cette improbabilité à celle d'une collision entre deux avions et de se rappeler, à ce propos, la collision fatale entre deux appareils au sol survenue à l'aéroport de Ténérife, il y a quelques années.

La spécification du «volume d'une colonne depuis le pont inférieur jusqu'au haut du ponton» semble également constituer un bon moyen de mesurer la marge de flottabilité. Le fait d'exprimer la marge de flottabilité en fonction du volume d'une colonne et non, par exemple, en pourcentage du volume de déplacement total comporte les avantages suivants:

1. Cela empêche les experts de concevoir des installations semi-submersibles à quatre colonnes (ou moins), et, lorsqu'ils le font, ils prennent toutes les précautions pour minimiser les conséquences de la perte de l'un des éléments, déjà peu nombreux, qui constituent les principaux points d'appui de la structure et en assurent la stabilité. Les installations à six colonnes ou plus présentent un net avantage en ce qui a trait à la stabilité après avarie, car les conséquences de dommages majeurs subis par les éléments les plus exposés (c'est-à-dire les colonnes et les entretoises verticales) d'une installation semi-submersible décroissent avec l'augmentation du nombre de ces éléments.
2. Les colonnes d'angle constituent les parties d'une unité semi-submersible où la perte de flottabilité est la plus néfaste. Par conséquent, le critère fondé sur l'hypothèse d'«une colonne inondée» amène également un déséquilibre de moment que la flottabilité doit contrer.

3. Le fait de définir la marge de flottabilité comme équivalant au volume d'une colonne depuis le pont inférieur jusqu'au sommet du ponton constitue un critère simple, clair et incontestable qui ne peut faire l'objet d'une mauvaise interprétation. En outre, il est démontré que la plupart des installations semi-submersibles de conception équilibrée peuvent se prêter à l'application de ce critère.

Toutefois, à l'exemple de M. Michel, je mets en doute la validité du «chiffre magique» de 35 degrés.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT C 1

W. Martinovich
Vice-président exécutif
Earl & Wright

L'exposé de M. Michel nous fournit un excellent aperçu des principes de conception et des méthodes mis en pratique par la firme Friede and Goldman en vue d'assurer la sécurité des opérations en mer. Je suis d'accord, en général, avec la plupart des opinions émises par l'auteur. À mon avis, la question principale réside dans la cohérence de la démarche mise au point au fil des ans et dans l'application rigoureuse de cette démarche à la conception des MODU.

Il y a bien un certain nombre de points sur lesquels je ne partage pas l'avis de M. Michel, mais ce sont, dans la plupart des cas, des divergences d'opinions professionnelles. En fin de compte, en appliquant nos théories respectives avec cohérence, les firmes que nous représentons produiront un modèle sûr.

J'aimerais formuler quelques observations sur un certain nombre de points, soit parce qu'ils n'ont pas été traités en profondeur en raison de la vaste portée du document, soit parce qu'ils me semblent particulièrement importants et que je souhaite en faire part aux participants à la présente conférence.

SEMI-SUBMERSIBLES

Stabilité à l'état intact

La méthode actuelle de calcul de la stabilité à l'état intact est ridicule. Compte tenu du fait que nous vivons à l'ère de la haute technologie en cette fin de 20^e siècle, les règlements actuels sont tout à fait insuffisants. Nous nous acharnons à calculer avec précision les moments de chavirement imputables au vent dans les conditions irréalistes d'une mer calme et d'une installation non amarrée, alors que nous savons pertinemment que les mouvements sont dus à la houle, non au vent, et qu'à l'état intact une plate-forme de forage semi-submersible, comme celles qui sont en usage de nos jours, ne peut chavirer.

La définition de l'envahissement par les hauts et le recours à la flottabilité des ponts pour répondre aux exigences de stabilité sont d'autres lacunes graves des règlements actuels. La plupart des coques supérieures flottables sont étanches en théorie mais non en pratique, les meilleurs exemples nous étant fournis par l'*Ocean Ranger* et l'*Alexander Kielland*. Lorsqu'on les soumet aux exigences de stabilité, on constate que les coques supérieures ne sont généralement

pas conçues pour résister aux forces locales attribuables aux vagues et, notamment, au martèlement de la houle.

Pour résumer la question, je crois qu'il est nécessaire d'établir une règle rationnelle en ce qui concerne la stabilité à l'état intact, comme le proposait d'ailleurs le groupe d'experts MS-3 du SNAME dans son communiqué (ci-joint) du 7 mai 1984, de même que des exigences formelles quant à l'étanchéité et réalistes quant à la structure des coques supérieures flottables.¹

Stabilité après avarie

La stabilité après avarie pose un problème réel en ce qui concerne la définition d'un événement plausible entraînant la perte de la flottabilité. Comme la question est avant tout de nature subjective, on peut trouver autant de critères qu'il existe d'organismes de réglementation. J'espère qu'un jour on parviendra, de par le monde, à un consensus quant aux exigences relatives à la stabilité après avarie. L'angle limite de 15 degrés mentionné dans le document de M. Michel n'est peut-être pas une exigence raisonnable. Chez Earl and Wright, nous croyons qu'une installation qui compte sur un vide suffisant entre le niveau de l'eau et le pont pour assurer sa stabilité après avarie et qui gîte d'un peu plus de 15 degrés est, en soi, plus sûre qu'une installation qui comporte un vide minimum et qui compte sur une coque supérieure à l'étanchéité et à la résistance douteuses pour limiter son angle de gîte. Comme dans le cas des règles relatives à la stabilité à l'état intact, nous mettons en doute le recours aux moments de chavirement imputables au vent pour déterminer les limites de submersion après avarie. Nous sommes d'avis qu'il serait plus raisonnable de prévoir un franc-bord ou un mouvement angulaire, ou encore une marge d'erreur dans la hauteur métacentrique afin d'établir, aux fins de la stabilité après avarie, une ligne de flottaison finale admissible sous le niveau d'envahissement par les hauts. À l'instar de M. Michel, nous nions le bien-fondé du critère de la perte de flottabilité d'une colonne dont font état les règlements de la Norvège. Les concepteurs ingénieurs satisfont à cette exigence en s'assurant de la flottabilité des ponts par le recours à une coque supérieure étanche en théorie mais non en pratique et inapte à résister aux forces des vagues. Il en résulte un faux sentiment de sécurité.

UNITÉS AUTO-ÉLÉVATRICES

En ce qui a trait aux unités auto-élévatrices, je partage volontiers les inquiétudes de M. Michel quant à la validité de l'expérience

acquise, au delà de 300 pieds de profondeur. En fait, je suis surpris qu'il n'y ait pas eu plus d'incidents imputables à la rupture par fatigue dans le cas d'unités exploitées en haute mer dont la conception fait abstraction de l'amplification dynamique des mouvements et repose sur des critères de fatigue discutables.

ANALYSE DES RISQUES

En ce qui concerne l'analyse des risques, je suis tout à fait d'accord avec M. Michel et je recommande aux participants à la conférence que le sujet intéresse de lire le document rédigé par M. Ian Burton dans le cadre des études de la partie deux.

STABILITÉ DES SEMI-SUBMERSIBLES À L'ÉTAT INTACT

Communiqué adopté par le groupe d'experts MS-3 (plates-formes mobiles de forage en mer) de la SNAME 7 mai 1984

Le groupe d'experts MS-3 (plates-formes mobiles de forage en mer) de la SNAME s'intéresse aux recherches actuelles sur la stabilité des semi-submersibles à l'état intact et désire formuler plusieurs observations et commentaires à ce sujet. Il est à espérer que ces commentaires seront pris en considération lorsque viendra le temps de définir la portée ou l'orientation de la recherche et de tirer des conclusions. Les observations qui suivent se veulent constructives et reflètent l'opinion d'un groupe représentatif des concepteurs, des exploitants, des propriétaires, des organismes de réglementation et des constructeurs de plates-formes semi-submersibles.

1. Les critères actuels de stabilité des semi-submersibles à l'état intact, qui ont été adoptés par les organismes de réglementation à travers le monde, sont empiriques. Ils ont été élaborés, en effet, à partir de critères établis à l'égard de navires. L'expérience acquise dans l'exploitation des plates-formes semi-submersibles en mer nous permet de mettre en doute la validité ou l'applicabilité absolue de ces critères. On s'attaque maintenant au problème et l'élaboration de critères judicieux, rationnels et pratiques suscite un intérêt sans précédent.
2. Il existe quantité de données à partir desquelles on peut évaluer la stabilité des semi-submersibles à l'état intact. Elles sont le fruit de l'expérience acquise depuis une vingtaine d'années grâce à l'exploitation, à l'essai de modèles et à l'analyse. Lorsqu'il n'y a ni avarie, ni inondation, ni transfert de

pois, les statistiques ne révèlent aucune perte attribuable à un manque de stabilité et, à la connaissance du groupe d'experts, les modèles d'essai n'ont jamais chaviré. Cela prouve bien que la stabilité des semi-submersibles modernes à l'état intact est supérieure aux exigences liées à la sécurité des opérations.

3. Cette observation amène les experts à la conclusion qu'aucun critère de stabilité à l'état intact n'est nécessaire dans le cas des installations semi-submersibles modernes, si ce n'est, dans la pratique, celui de la hauteur métacentrique minimale. Cela revient à dire que, si un critère rationnel était formulé et appliqué, n'importe laquelle des installations semi-submersibles actuelles comportant, dans la pratique, une hauteur métacentrique minimale devrait être en mesure d'y satisfaire.

4. Les membres du groupe d'experts s'attendent à ce que les recherches actuelles débouchent sur des conclusions semblables à celles qui sont exposées ci-dessus. Si tel est le cas, la tâche consistant à établir des critères se réduira à déterminer les dimensions limites des semi-submersibles de «configuration normale» et aux caractéristiques normales en ce qui a trait au «bras de levier de redressement», tâche qui ne fait appel, dans la pratique, à aucun critère autre que celui de la hauteur métacentrique minimale.

Souhaitons que les personnes engagées dans la recherche en matière de stabilité des plates-formes semi-submersibles tiennent compte de la possibilité que leurs travaux ne débouchent sur aucun critère plutôt que sur la formulation de nouveaux critères. Il faudrait éviter de présumer que certains critères (autres que celui de la hauteur métacentrique minimale dans la pratique) s'imposent.



A. Broussard
 Directeur de la recherche et du
 développement
 Sonat Offshore Drilling

Le document C2 a été rédigé par MM. A.M. Koehler, D.R. Roy et A.A. Broussard. M. Broussard qui a présenté l'exposé au nom des trois auteurs, est titulaire d'une maîtrise en génie civil et travaille pour le compte de Sonat Offshore depuis 1975. Après avoir dirigé divers services de la Sonat, il a été nommé en 1984 directeur de la recherche et du développement. M. Broussard est membre du comité spécial de l'ABS pour les MODU et du comité consultatif du DnV pour la technologie offshore.

DOCUMENT C2

Systèmes critiques et continuité de la responsabilité technique

Nous examinerons dans le présent exposé la conception des sous-systèmes critiques et la place des considérations ergonomiques dans les critères de conception appliqués. Nous montrerons aussi l'importance de garantir la continuité de la responsabilité technique dans les phases successives de la conception, la construction, la certification et l'exploitation des plates-formes de forage. Ces deux aspects seront examinés séparément. L'importante contribution de la continuité technique à la conception des systèmes critiques sera ensuite soulignée.

Le Sonat Offshore Drilling, autrefois The Offshore Company, oeuvre dans le domaine de la conception, de la construction et de l'exploitation d'unités mobiles de forage offshore (MODU) depuis 1954. Au cours de ces trente années, la Sonat a conçu et exploité des plates-formes auto-élevatrices, des navires de forage et des plates-formes semi-submersibles, contribuant ainsi à l'évolution de l'industrie dans le domaine de la conception. Cette participation a inclut l'élaboration de critères et de normes d'exploitation en eaux profondes et en régions éloignées et hostiles. Nous en sommes actuellement à la dernière étape de la conception de deux plates-formes semi-submersibles hivérissées de quatrième génération. Les principes examinés dans le présent exposé sont basés sur ces années d'expérience dans la conception et l'exploitation de MODU que sur les rapports techniques qui ont été préparés pour la Commission royale.

CONCEPTION DES SYSTÈMES CRITIQUES

«Les systèmes critiques» sont les systèmes dont la panne partielle ou totale peut entraîner le naufrage de la MODU ou mettre en danger la vie des personnes travaillant sur la plate-forme dans des circonstances difficiles vraisemblables. Cette définition est celle que livre *Det norske Veritas (Canada) Ltd.*, dans un rapport préparé pour la Commission royale qui identifie trois des systèmes les plus critiques pour une exploitation sûre des MODU. Le choix de ces systèmes les plus critiques est basé sur l'évaluation de DnV des accidents survenus dans l'industrie du forage mobile ainsi que sur le jugement de spécialistes bien informés. D'après ce rapport, les systèmes les plus critiques sont:

- Les systèmes de ballastage et de sta-

bilisation des plates-formes semi-submersibles.

- Les systèmes de remorquage et de transport des plates-formes auto-élevatrices.
- Les systèmes de contrôle des puits.

Par considérations ergonomiques, on entend les conditions, les commandes, les restrictions, etc., imposées à la configuration et au fonctionnement du système du fait que ce sont des hommes qui feront fonctionner le système. La plupart des considérations ergonomiques sont universelles, quel que soit le but du système. Par conséquent, à des fins d'illustration, ces principes seront examinés du point de vue de leur application au système de ballastage d'une plate-forme semi-submersible.

Pour les systèmes critiques, les considérations ergonomiques doivent inclure l'état de l'unité ou du système après un incident hypothétique. Il peut s'agir d'un abordage, d'un incendie, d'une défaillance structurale ou d'une panne d'électricité générale. L'incident peut entraîner une gêne extrême de la plate-forme, la présence de fumée ou de gaz, l'inondation de compartiments, une panne de courant. Les critères de conception du système critique doivent inclure redondance, accessibilité, facilité de fonctionnement, emploi minimal d'équipement auxiliaire et auto-diagnostique. Les éléments des systèmes critiques doivent être à sûreté intégrée, à l'épreuve des fausses manoeuvres et avoir été éprouvés sur le terrain.

Une exigence fondamentale, du point de vue ergonomique, est que le système critique doit être conçu de façon à être facile d'accès, d'inspection, d'essai et d'entretien. On doit pouvoir inspecter, essayer et entretenir régulièrement l'unité sans interrompre son fonctionnement normal. Cela signifie que le système doit être redondant, de façon à permettre l'exécution de toutes les fonctions individuelles même lorsque certains éléments sont hors service. Le système doit être divisé de telle sorte qu'une anomalie localisée ne provoque pas de panne du système entier. Il doit être possible d'isoler des sous-systèmes ou des éléments pour en faire l'entretien, l'essai ou la réparation sans mettre le système entier hors service.

Si un dispositif de secours doit être mis en marche par intervention humaine, alors ce dispositif doit être d'accès raisonnable après l'incident hypothétique. De plus, pour qu'il soit valable, ce dispositif doit être accessible en un temps raisonnable. Dans le cas du système de ballastage, cela signifie que si certains robinets des réservoirs de ballastage sont conçus pour être manoeuvrés à la main en cas d'urgence, ces ro-

nets doivent être manoeuvrables et facilement accessibles (et non sous le grillage du plancher par exemple). Il doit être humainement possible (physiquement et psychologiquement) à un membre de l'équipage de descendre le long de la colonne dans une salle des pompes et d'atteindre facilement le robinet en question, avec les outils appropriés, pour le faire fonctionner. Enfin, la position du robinet doit être distinctement marquée.

Les commandes d'un sous-système critique tel le système de ballastage doivent être conçues de façon à en permettre le dépannage en cours de fonctionnement. Une anomalie du système ne doit pas en provoquer la panne totale: des alarmes et des indicateurs doivent permettre de localiser l'anomalie et d'y remédier en un temps raisonnable. Pour ne pas distraire l'attention de l'employé chargé de la commande du ballastage en situation d'urgence, le système d'alarme doit être doté d'un silencieux efficace. Une fois le signal audible interrompu, l'indicateur lumineux correspondant à l'élément défectueux doit se mettre à clignoter. Toute autre anomalie survenant après la mise en circuit du silencieux doit redéclencher le signal audible.

Pour qu'un système soit en bon état et puisse fonctionner en cas d'urgence ou de situation critique, il faut qu'il soit entretenu et essayé régulièrement. Par conséquent, il doit être aisément accessible et conçu de façon à faciliter le plus possible l'inspection et les essais. C'est une norme bien établie dans l'industrie, par exemple, que tous les vides d'une plate-forme semi-submersible soient inspectés tous les mois. Cependant, sur certaines plates-formes actuelles, une telle inspection peut prendre plusieurs jours et demander de nombreuses heures-hommes. Plus l'inspection est difficile et longue, plus il est probable qu'elle soit retardée ou omise une fois la plate-forme en exploitation. Par conséquent, l'un des premiers facteurs à considérer dans la conception d'un sous-système quelconque est sa fiscalité d'inspection et d'entretien.

Il est souhaitable que tout équipement nécessaire en cas d'urgence soit aussi utilisé pendant l'exploitation normale. On maximalise ainsi les chances que l'équipement soit en bon état en cas d'urgence. S'il est nécessaire d'utiliser une pompe donnée pour le système de ballastage, pour remédier à une inondation accidentelle ou à une avarie, cette pompe devrait être utilisée dans le même but en temps normal. Si certains réservoirs sont conçus pour être vidés à l'aide d'une pompe submersible en cas d'avarie, cette pompe submersible devrait être utilisée aussi pour vider le réservoir en temps normal. On s'assure ainsi qu'elle fonctionne bien. Un système d'urgence uni-

que doublant le système principal et servant de système d'appoint est aussi nécessaire. Ce système doit être essayé et entretenu régulièrement.

En règle générale, tous les systèmes critiques doivent être conçus et installés de façon à permettre un entretien courant sans interruption du fonctionnement normal de l'unité. S'il faut suspendre le forage, il est possible que les travaux d'entretien soient reportés afin de réduire au minimum les incidences sur les opérations, ce qui risque de nuire à la sécurité globale de la plate-forme.

CONTINUITÉ DE LA RESPONSABILITÉ

La sécurité des équipages de forage offshore est la responsabilité de nombreuses personnes, depuis le gouvernement qui utilise les services de forage pour la mise en valeur des ressources jusqu'à chacun des membres de ces équipages. Chacun des éléments responsables, à savoir le gouvernement, les exploitants, les propriétaires, les sociétés de classification, les inspecteurs des compagnies d'assurances, les associations industrielles, les organismes gouvernementaux mixtes et les membres d'équipage, a un rôle à jouer pour assurer la continuité technique. Il peut s'agir de l'élaboration de règlements par le gouvernement, de l'introduction de progrès techniques dans l'industrie, de l'amélioration de la conception basée sur les réactions d'un équipage bien entraîné. La collaboration entre les différents groupes permet à l'industrie de protéger sa plus grande richesse: sa main-d'oeuvre. Avant d'examiner les moyens d'assurer la continuité de la responsabilité technique, voyons les rôles des principaux éléments responsables.

1. Le gouvernement. Les lois, règles, règlements et normes établis par le gouvernement pour contrôler les opérations offshore dans le pays doivent être basés sur le principe de la sécurité. Cette réglementation ne doit pas compromettre la sûreté des opérations. Par exemple, l'établissement d'un quota de recrutement de membres d'équipage au pays doit être accompagné d'une règle relative à la formation minimale de ces personnes. Il revient au gouvernement de faire en sorte que les employés recrutés au pays soient qualifiés.

2. L'exploitant. Les exploitants doivent respecter dans leurs opérations l'esprit des règles, règlements et lois du gouvernement. Cela signifie qu'ils doivent choisir une plate-forme et un entrepreneur qui satisfont à toutes les exigences en matière de sécurité; le choix d'une plate-forme ne peut se fonder uniquement sur le désir d'abaisser les frais quotidiens d'exploitation. Les exploitants ne doivent pas compromettre la sécurité pour

des raisons d'économies et ne doivent pas commander une plate-forme non sécuritaire dans les circonstances.

3. Le propriétaire. Le propriétaire ne doit jamais offrir une plate-forme s'il n'est pas sûr qu'elle peut être exploitée sans danger, tant en ce qui concerne la conception de la plate-forme que les qualifications de l'équipage. C'est à lui qu'il revient de recruter des membres d'équipage bien formés, qui savent ce qu'ils doivent faire et sont capables de le faire. C'est aussi lui qui doit faire en sorte que toute modification subséquente de la plate-forme et des méthodes d'exploitation après la mise en service n'entraîne pas une réduction de la sécurité.

4. La société de classification. La société de classification est chargée de vérifier que la plate-forme est conçue, construite et entretenue en conformité avec les derniers règlements. Étant donné que les règlements sont révisés périodiquement pour améliorer la sécurité de la plate-forme et qu'ils peuvent changer au cours de sa construction, la conception et la construction de la plate-forme doivent être modifiées pour rester conformes aux nouveaux règlements. La société doit s'assurer de la qualité des techniques utilisées à toutes les étapes de la conception et de la construction. Les problèmes qui ne sont pas prévus spécifiquement par les règlements ne doivent pas être écartés.

Comme la société est payée indirectement par le propriétaire, par l'intermédiaire du constructeur, des conflits d'intérêts peuvent survenir. Les sociétés doivent préciser ce que leurs services incluent. Les propriétaires doivent reconnaître que les représentants de la société sont des vérificateurs et non des inspecteurs. Le rôle de ces représentants est d'effectuer des vérifications ponctuelles pour s'assurer que les fabricants emploient des méthodes appropriées de contrôle de la qualité. Ils ne contrôlent pas nécessairement de façon continue la fabrication des éléments (sur une chaîne, par exemple) ni la construction de la plate-forme. Les services offerts par différentes sociétés peuvent varier considérablement.

5. Les vérificateurs de compagnies d'assurance. Le rôle des vérificateurs de compagnies d'assurances est de vérifier que les critères d'évaluation d'une plate-forme en ce qui concerne son exploitation dans un endroit donné sont sûrs et uniformes. Les vérificateurs ont en général peu à voir avec la conception initiale.

6. Les associations industrielles. Les associations industrielles telles que l'API, l'ASME et d'autres ont pour rôle d'assurer que les normes de qualité associées à leur signature sont respectées. Les fabricants et les fournisseurs doivent faire l'objet d'inspections et de contrôles réguliers.

On doit encourager des associations comme l'IADC à offrir une véritable tribune pour les échanges d'idées et l'élaboration de normes de formation professionnelle.

La continuité de la responsabilité technique à travers les phases successives de la conception, la construction, la certification et l'exploitation de la plate-forme est fondamentale et essentielle. En règle générale, on reconnaît que le propriétaire est responsable de la certification et de l'exploitation de la plate-forme. Il doit aussi être entièrement responsable de la conception et de la construction bien qu'il puisse déléguer une partie de cette responsabilité, voire la totalité, à des concepteurs, constructeurs et sociétés de classification qualifiés. Seul le propriétaire peut garantir la continuité à travers toutes ces phases et il en est donc le seul responsable.

La responsabilité technique, depuis la conception jusqu'à l'exploitation d'une plate-forme mobile de forage, peut varier considérablement suivant l'histoire de la plate-forme. Dans le cas le plus simple, la plate-forme est conçue, construite, certifiée, exploitée, modifiée et entretenue sous le contrôle d'une seule entité: par exemple l'entrepreneur en forage qui offre une gamme complète de services, depuis la conception jusqu'à l'exploitation. À l'opposé, il existe le cas complexe où le concepteur, le constructeur et l'exploitant constituent différentes entités. De plus, il se peut que la plate-forme ait été exploitée par plusieurs entreprises différentes. Dans le cas le plus simple, la continuité technique est assurée et repose sur le propriétaire de la plate-forme. Dans le cas extrême où la responsabilité est partagée entre plusieurs entités, il est beaucoup plus difficile de garantir la continuité technique.

Dans les deux cas, la société de classification joue un rôle majeur dans le succès de l'exploitation d'une unité de forage mobile. Seule la société de classification est assurée d'une participation importante dans la mise au point et l'utilisation d'une unité de forage. C'est une obligation à laquelle les sociétés de classification ont répondu efficacement. Cependant, le système comporte certaines faiblesses dont l'industrie doit tenir compte de façon appropriée.

En général, les sociétés de classification ont commencé à s'intéresser au domaine des unités mobiles de forage parce que l'industrie désirait un ensemble de règles uniformes en matière de conception et d'exploitation. Dans une grande mesure, ces règles de classification ont été élaborées conjointement par des représentants des industries de forage et les sociétés. Ce groupe qui collabore avec les sociétés de classification pour l'élaboration des règles

représente les concepteurs, les constructeurs, les exploitants, les représentants d'organismes gouvernementaux et un grand nombre de vendeurs d'équipement importants. Les sociétés de classification sont des organismes autonomes qui se sont fixés des règles élaborées après consultation avec tous les participants. Cette interaction se traduit par l'élaboration de règles associées. Les divers groupes ont généralement essayé d'atteindre un équilibre raisonnable entre les droits acquis de chacun.

Malheureusement, la classification est un domaine où règne une certaine concurrence. Cette concurrence entre les sociétés de classification affaiblit quelque peu leur position en ce qui concerne l'élaboration et la mise en application de règles plus sévères. Elles doivent répondre aux groupes intéressés qui les aident à élaborer les règles, mais qui sont aussi leurs principaux clients en ce qui concerne l'utilisation des règles et des services. Il est essentiel que les sociétés de classification élaborent des règles basées sur leurs connaissances techniques particulières et sur leur expérience dans le domaine de la conception des unités de forage et que ces règles s'appliquent uniformément et équitablement à toutes les unités de forage dans le monde entier. Il faut évaluer judicieusement les pressions de divers groupes aux intérêts particuliers tout en tenant compte de la nécessité d'obtenir un produit sûr et fiable.

De plus, à l'heure actuelle, les sociétés de classification ont des exigences quelque peu différentes et, ce qui est peut-être encore plus important, elles n'adoptent pas toujours la même démarche. Il devient donc essentiel pour le propriétaire de choisir la société de classification en fonction des exigences, des méthodes et des connaissances de cette dernière. Il est tout autant inacceptable pour un propriétaire de choisir une société parce que son offre est la plus basse que pour une compagnie pétrolière de choisir une plate-forme parce que ses frais quotidiens d'exploitation sont les plus bas.

Une société de classification peut évaluer la conception d'une unité donnée en fonction d'un critère de conception particulier, mais elle n'a rien à dire en ce qui concerne l'utilisation d'une telle unité dans un endroit précis. Cela signifie qu'une unité peut être classée par la société en fonction d'un critère de conception qui peut répondre ou ne pas répondre aux exigences d'exploitation dans un endroit donné. C'est en général au propriétaire de décider si une unité peut être utilisée à l'endroit choisi. Pour prendre sa décision, le propriétaire s'adresse à un hydrographe. L'hydrographe doit fournir les données nécessaires permettant d'établir qu'une unité peut être utilisée dans un endroit donné. Il peut y avoir des divergen-

ces importantes entre les avis des divers hydrographes. Ces derniers doivent faire appel à des météorologues et à des océanographes pour établir les périodes de récurrence nominales des tempêtes dans un endroit donné. Une fois les caractéristiques du site obtenues, l'hydrographe doit vérifier que la structure et le mode d'exploitation de l'unité de forage conviennent. L'évaluation de la structure doit être basée sur des méthodes compatibles avec la démarche adoptée lors de la conception de l'unité.

L'un des problèmes qui se pose dans l'industrie offshore est la divergence d'opinion parmi les experts lorsqu'il s'agit de définir les extrêmes météorologiques à un endroit donné. Les variations peuvent être importantes. Ainsi, il peut arriver qu'un hydrographe approuve l'exploitation d'une unité de forage donnée à un endroit particulier, en se basant sur les critères environnementaux établis par un expert, alors qu'un autre hydrographe, qui utilisera les services d'un autre expert, refusera l'exploitation de la même unité au même endroit. La détermination des critères environnementaux appropriés sur un site donné a toujours été une source de problèmes et de confusion pour les propriétaires d'unités de forage.

Lorsqu'une société de classification étudie la conception d'une unité de forage en vue de son approbation, et dans ses tâches subséquentes, elle acquiert une connaissance approfondie des qualités de l'unité. Cependant, l'hydrographe n'a pas accès à toutes ces données qui échappent même parfois à son domaine de compétence. Il y a donc lieu de se demander si une nouvelle définition des responsabilités de chacun et un changement dans le mode de coopération ne permettraient pas d'améliorer la tâche très importante que constitue l'approbation de l'exploitation d'une unité de forage à un endroit donné.

Il est impossible d'évaluer uniformément les risques associés à l'exploitation d'une unité de forage mobile dans un endroit donné s'il n'y a pas uniformité des critères environnementaux. Il est particulièrement difficile de définir si une unité de forage convient dans une zone spécifique lorsqu'il s'agit d'unités auto-élévatrices. Cependant, il apparaît que c'est dans ces zones qu'il y a le moins d'uniformité dans les critères environnementaux. Pour le propriétaire et le concepteur d'une unité de forage mobile, cela constitue un problème très ardu. Il est en effet très difficile de déterminer les critères environnementaux qui doivent être choisis pour la conception d'une unité qui soit très facilement commercialisable tout en étant économique et exploitable dans des régions spécifiques. Une démarche, qui a été adoptée dans la mer du Nord, consiste à laisser à l'organisme de réglementation la

responsabilité d'établir les critères environnementaux qui doivent être appliqués dans certaines zones d'exploitation. Dans ce cas, une unité de forage donnée peut être évaluée en fonction de critères connus et il est alors possible de fixer uniformément un niveau de risque pour toutes les unités qu'on veut exploiter dans une région donnée.

L'exploitation se faisant dans des régions de plus en plus éloignées, comme au Canada, il est essentiel que l'industrie élabore une méthode permettant d'établir des critères environnementaux de conception uniformes qui puissent être mis à la disposition des concepteurs, des propriétaires et des exploitants d'unités de forage de façon que l'on construise des unités sûres, économiques et efficaces.

En général, les règles et règlements sont élaborés en fonction des progrès de la technologie et des techniques d'analyse ou – comme c'est le cas avec l'*Ocean Ranger* – en réponse à des défaillances importantes, à la performance de l'équipement ou aux réactions de l'équipage. Dans chaque cas, on modifie les règlements dans le but de prévenir les accidents ou les défaillances qui mettent en danger la vie des hommes ou présentent des risques pour l'environnement. Les nouveaux règlements sont généralement basés sur un jugement technique collectif et traduisent souvent la vaste expérience de l'industrie. Ainsi, ils permettent aux concepteurs et aux propriétaires d'avoir une meilleure idée de la situation et ils constituent donc un élément de continuité universelle en matière de responsabilité technique.

Malheureusement, il existe un court-circuit important dans ce processus évolutif. Nous voulons parler du principe des privilèges acquis. En théorie, ce principe vise à réduire au minimum les conséquences économiques soudaines sur l'industrie et, plus particulièrement sur les propriétaires et les entrepreneurs, des restrictions imposées ou du refus d'exploitation de leurs unités de forage dans des régions données. Cependant, il arrive ainsi que, dans une certaine zone, deux plates-formes soient en exploitation, une qui a été conçue en fonction des nouveaux règlements et une qui bénéficie d'exemptions. On doit donc avoir un niveau de risque différent pour les deux types d'exploitation et, dans des cas extrêmes, la

différence peut être considérable. Par conséquent, l'industrie doit remettre en question le principe des privilèges acquis, à moins qu'une date précise ne soit spécifiée pour obliger le propriétaire ou l'exploitant d'une plate-forme existante à se conformer aux nouveaux règlements.

Cette question fait l'objet d'une controverse. En règle générale, les concepteurs et les propriétaires d'une unité existante estiment que leur unité est suffisamment sûre et que les règlements sont le résultat d'une réaction intempestive à un ensemble donné de circonstances. D'aucuns prétendent qu'un évènement isolé de ce genre ne justifie pas l'imposition des règlements. Cependant, on peut aussi soutenir que, s'il est humain de faire une erreur ou si l'on peut accepter des imperfections dans l'évolution d'une industrie ou d'un principe de conception, on commet une négligence lorsqu'on ne tient pas compte de l'expérience. Le principe des privilèges acquis ne devrait concerner que des cas très limités et une date précise à laquelle les unités existantes doivent répondre aux exigences des nouveaux règlements devrait être spécifiée.

La conception technique est un processus itératif qui comprend des étapes d'évaluation et de révision. La complexité de chaque étape dépend de l'évaluation de l'étape précédente. Le processus se poursuit jusqu'à ce que le système résultant atteigne un niveau défini de sécurité et de fiabilité. Tous les groupes concernés par le forage en mer, depuis le gouvernement jusqu'aux travailleurs, sont interdépendants et l'apport de chacun est nécessaire pour améliorer les exigences en matière de conception et de performance du système. Il revient à chaque groupe d'obtenir les informations nécessaires et de faire part ensuite de son expérience.

Le concepteur d'une plate-forme semi-sousmersible est responsable de la conception de sous-systèmes critiques tel que le système de ballastage. Cette responsabilité ne s'arrête pas à la conception, mais s'étend aussi à la construction et à l'exploitation. Le propriétaire est responsable du fonctionnement du système de ballastage et de la formation de l'équipe chargée de la commande de ce système; cependant, le concepteur doit continuer de participer en donnant des conseils sur la façon de procéder et en recevant des données sur la performance. C'est seulement en évaluant l'exploitabilité et la performance sur le terrain qu'il est possible d'évaluer la conception et d'améliorer la sécurité et la fiabilité de l'unité de forage.

La contribution du gouvernement du Canada – par le biais de cette conférence organisée par la Commission royale – est accueillie avec satisfaction. Les groupes responsables peuvent ainsi profiter de cette tribune pour échanger leurs idées. Nul doute que chacun appréciera mieux la nécessité et la difficulté d'assurer la continuité de la responsabilité technique dans les phases successives de la conception, de la construction, de la certification et de l'exploitation des plates-formes de forage. Nous sommes heureux de participer à cette conférence.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT C2

F. Atkinson
Vérificateur principal
Lloyd's Register of Shipping

L'exposé présenté par M. Koehler a rehaussé les débats qui se sont tenus dans le cadre de la présente conférence. D'une vaste portée, il examine la responsabilité technique d'un certain nombre d'organismes importants qui s'intéressent à la conception, à la construction et à l'exploitation courante d'une unité mobile de forage en mer. Il faut malheureusement reconnaître que la plupart des progrès réalisés dans le domaine de l'industrie navale sont le résultat d'un accident tragique et je suis persuadé que, tout comme l'*Alexander Kielland* a contribué à l'amélioration des conditions de sécurité, la perte de l'*Ocean Ranger* aidera à améliorer le sort des marins appelés à travailler à bord des installations offshore.

On ne peut attribuer, avec une certitude absolue, à un seul organisme l'entière responsabilité d'une activité donnée. La conception et la construction d'une unité mobile de forage sont régies par les exigences d'un propriétaire et par la capacité d'un concepteur d'y satisfaire tout en produisant un modèle qui puisse être réalisé efficacement par le constructeur. D'autre part, ces trois personnes doivent faire en sorte de respecter les exigences de la société de classification, du gouvernement du pays visé ou de l'État du pavillon, les normes internationales et une multitude de codes pour réussir à produire une unité satisfaisante.

Contrairement aux navires classiques, dont la conception est avant tout régie par des règlements internationaux, les unités mobiles de forage doivent essentiellement être conçues selon les désirs du gouvernement sur le plateau continental duquel la plate-forme sera mise en exploitation. Bien que les règlements établis par divers pays visent les mêmes buts, ils comportent des différences qui rendent difficile l'exploitation d'une unité à l'échelle internationale. Par exemple, il n'y a qu'à comparer les exigences gouvernementales du Canada, du Royaume-Uni, des États-Unis et de la Norvège pour faire ressortir un certain nombre de ces différences dont la plupart ont trait aux normes concernant la stabilité après avarie. L'interprétation des règlements en ce qui a trait à la redondance structurale et à la résistance aux collisions avec des navires illustre bien cette situation.

Même si les sociétés de classification tiennent compte du facteur environnemental au moment de l'analyse structurale, je proposerais que la définition des conditions extrêmes relève du gouvernement auquel appar-

tient le plateau continental. M. Koehler semble laisser entendre que les sociétés de classification n'ont aucune influence sur l'emplacement d'une MODU, mais cela n'est pas tout à fait vrai. Une unité qui est en service à un endroit où l'environnement, que ce soit aux fins du transit, de l'exploitation ou de la survie, déroge aux critères établis, est déclassée.

De plus, si nous agissons, à titre de société de classification, comme agence de certification/vérification, cela signifie que le certificat de conformité n'est délivré qu'en fonction d'un endroit donné. Cela étant dit, je propose de remettre en question la remarque faite par M. Koehler, savoir qu'une fois qu'un emplacement a été choisi, il est toujours possible à l'hydrographe de vérifier si la structure et le mode d'exploitation de l'unité sont adaptés aux conditions. Seule une personne possédant une connaissance très approfondie de l'unité peut faire une vérification de ce genre.

Comme M. Koehler l'a fait remarquer, il est malheureux, mais vrai, que les principaux facteurs qui ont provoqué la perte de l'*Ocean Ranger* semblent reliés au système de ballasts, au mécanisme de commande de ce système et à la capacité de l'équipage de le faire fonctionner. Voilà qui met en relief la dualité du contrôle exercé sur les opérations offshore et souligne peut-être le besoin d'établir des dispositions légales plus rigoureuses sur le plan international, ou tout au moins, sur le plan national.

À bord d'une installation offshore les activités humaines varient considérablement, selon le mode d'exploitation de l'unité. Une telle combinaison d'intérêts et de disciplines aboutit nécessairement à une dichotomie dans les responsabilités et fait ressortir la nécessité de disposer d'un équipage compétent et bien formé, dirigé par une personne ayant une autorité absolue.

Bien que M. Koehler en ait fait mention, je ne crois pas qu'on ait suffisamment insisté sur l'importance de la formation de l'équipage; il s'agit d'un sujet que ce symposium aimerait peut-être approfondir davantage, à savoir la formation par rapport aux niveaux de compétence déterminés et convenus.

Une installation offshore est en définitive un amalgame d'idées dans la conception, de restrictions dans la construction, de critères de stabilité, de méthodes d'inspection compromises par la faillibilité humaine et d'exigences relativement restreintes quant à l'attribution des certificats, à la classification et à l'assurance de la qualité. Pour compliquer davantage les choses, il faut doter une telle installation d'un équipage disposant d'appareils ou de moyens de sauvetage adaptés qui ne serviront que dans des conditions ambiantes très difficiles et dans des moments de confusion et de stress très

intenses.

Je m'arrêterai maintenant à la seconde partie de l'exposé qui traite de la continuité de la responsabilité, surtout par rapport à une unité mobile de forage en mer (MODU). On sait d'expérience que, contrairement à la situation qui a cours dans les activités maritimes, il arrive assez souvent que des concepteurs participent à l'exploitation d'une MODU. Cette coutume est en train de changer lentement, les chantiers navals se contentant maintenant d'assumer la responsabilité de leur propre conception, pour laisser l'exploitation de l'installation entre les mains d'une société indépendante. Cette tendance rompt la continuité traditionnelle de la responsabilité du concepteur à l'entrepreneur de forage, et comme l'autorité de l'état riverain ne s'exerce que pendant certaines périodes, je serais enclin à penser, en accord avec l'auteur, que les sociétés de classification sont les organismes qui s'intéressent pendant la plus longue période aux unités de forage. Il faudrait cependant se rendre compte qu'alors que ces sociétés se préoccupent beaucoup des aspects structuraux des installations et tendent à s'intéresser davantage à leur stabilité, elles ne peuvent et ne devraient pas s'occuper de la compétence de l'équipage. C'est une question qui relève entièrement du pays d'enregistrement et de l'état riverain touchés.

Par rapport au rôle des sociétés de classification, M. Koehler a soulevé trois questions qui méritent d'être approfondies:

1. Il propose que les nouveaux règlements mis en vigueur au cours de la construction d'une unité s'appliquent sur-le-champ. Cela est contraire à toutes nos coutumes maritimes normales selon lesquelles les nouveaux règlements ne s'appliquent que six mois après avoir été acceptés et seulement aux unités conçues après cette date. Accepter les propositions de l'auteur entraînerait des problèmes contractuels considérables et serait tout à fait inacceptable pour le constructeur.

2. Je souscris à la proposition de l'auteur suivant laquelle on devrait avoir recours le moins possible aux clauses d'antériorité et qu'il faut prévoir une période suffisante pour la modification des plates-formes. Les règlements reconnaissent rarement les droits acquis et j'estime qu'il s'agit d'une prérogative qui appartient essentiellement aux gouvernements plutôt qu'aux sociétés de classification et même que cette prérogative ne devrait être exercée qu'avec beaucoup de prudence. On peut y avoir recours, naturellement, et j'aimerais beaucoup connaître le point de vue de l'auditoire à ce sujet, mais il serait bon d'avoir à l'esprit toutes les répercussions financières de son application, même si ce facteur se situe à l'extérieur du processus de classification.

3. M. Koehler fait remarquer qu'un propriétaire peut déléguer ses responsabilités en tout ou en partie. D'après moi, un propriétaire ne peut jamais déléguer toutes ses responsabilités et, de fait, c'est lui qui en définitive assume la responsabilité ultime de l'unité, même s'il peut partager sa responsabilité avec d'autres organismes. Je remarque que l'auteur fait allusion à la concurrence qui existe entre les sociétés de classification, mais je ne peux partager entièrement son opinion lorsqu'il laisse entendre qu'elle permet de marchander la sécurité. Je suis toutefois d'avis que les sociétés de classification ne devraient pas être assujetties à l'autorité gouvernementale et qu'on devrait s'élever contre toute forme de protectionnisme.

La présente conférence et l'exposé de M. Koehler ont tous deux fait ressortir la nécessité d'un contrôle plus rigoureux de la conception et de l'exploitation des MODU. Cependant, les modifications qui seront apportées, quelles qu'elles soient, devront être justifiées sur le plan technique et ne devront pas être faites sous le coup de l'émotion uniquement pour satisfaire la conscience publique. Je voudrais faire comprendre à cet auditoire que ce ne sont pas les transformations radicales qui amélioreront la sécurité future des MODU, mais bien le souci du détail au moment de la conception et de la construction des futures plates-formes.

J'aimerais remercier la Commission royale de m'avoir donné l'occasion d'exposer mes points de vue, dont certains n'étaient pas reliés directement aux propos de M. Koehler. De nature complémentaire, ils permettront probablement d'élargir le champ du débat visant à améliorer la sécurité des unités mobiles de forage en mer.

COMMENTAIRES SUR LE DOCUMENT C2

M. Vermij
Expert technique
Bureau de la sécurité aérienne
Transports Canada

Comme ma spécialité n'est pas la sécurité maritime, mais plutôt la sécurité aérienne, je limiterai mes commentaires à l'expérience que j'ai vécue au cours de l'enquête sur le sinistre de l'*Ocean Ranger* et aux questions d'analyse de la sécurité.

En premier lieu, j'aimerais commenter la définition des systèmes critiques donnée par M. Broussard, et la compléter. Les systèmes critiques sont définis comme étant les systèmes dont la panne totale ou partielle peut entraîner le naufrage de la MODU ou mettre en danger la vie des personnes qui y travaillent dans des «conditions difficiles vraisemblables». J'aimerais ajouter que c'est aussi la mauvaise utilisation d'un système critique, comme le révèle l'analyse du naufrage de

l'*Ocean Ranger*, qui peut provoquer une perte. De plus, la mention «conditions difficiles vraisemblables», au point de vue de la sécurité, n'est vraiment pas nécessaire. Je n'ai pas trouvé dans le document de définition de la continuité technique et j'en ai établie une de mon cru. Je voudrais vous la soumettre pour que vous en discutiez afin de voir si elle est juste ou pertinente: «l'établissement et le maintien d'une voie de communication opérationnelle, surtout jusqu'à l'équipage, qui permette d'assurer le fonctionnement, la surveillance et l'entretien sûrs, appropriés et sécuritaires des systèmes critiques de la plate-forme, dans toutes les conditions possibles, et pendant toute la vie utile de l'unité».

Ma participation à l'analyse du désastre de l'*Ocean Ranger* et la lecture de la première partie du rapport m'ont permis d'ajouter quelque chose comme vingt-deux facteurs de causalité qui ont contribué à la perte de la plate-forme et de l'équipage. Parmi ces facteurs de causalité, dix-sept ont provoqué le désastre et celui-ci ne se serait probablement pas produit si un seul de ces facteurs n'avait pas été présent. Comme vous pouvez le constater, six de ces facteurs sont attribuables à la rupture de la continuité technique et douze d'entre eux sont directement reliés à la défektivité des systèmes critiques. Cet exposé a pour but de démontrer l'importance des systèmes critiques et de la continuité technique. Une des leçons à tirer du sinistre de l'*Ocean Ranger*, c'est la nécessité d'inclure, à titre de principe technique et aux fins de la conception et de la sécurité, l'analyse critique et séquentielle des défektivités, qui serait confiée de préférence à un laboratoire indépendant et qui pourrait être soumise aux concepteurs sur une base de quasi-confrontation.

Le document rédigé par M. Broussard contient deux points sur lesquels je ne suis pas d'accord. M. Broussard déclare que «dans le cas où la plate-forme est conçue, construite, certifiée, exploitée, modifiée et entretenue sous le contrôle d'une seule entité, la continuité technique est assurée et repose sur le propriétaire de la plate-forme.» Je ne partage pas tout à fait ce point de vue. Je crois que dans ce cas, la question de la responsabilité est très claire, mais la continuité technique n'est certainement pas assurée uniquement par le fait qu'il n'y a qu'un seul propriétaire et concepteur. La continuité technique exige des parties en cause un effort continu pour l'assurer et faire en sorte que l'équipage et les autres intéressés aient la formation nécessaire pour bien gérer l'installation.

L'autre point sur lequel j'aimerais revenir est le suivant: «l'établissement d'un quota de recrutement de membres d'équipage au

A	B	C	D	FACTEURS DE CAUSALITÉ (Perte de l' <i>Ocean Ranger</i>)	
■				1. Violente tempête	
■				2. Direction des vagues et du vent	
	■			3. Emplacement de la salle de commande des ballasts	
	■			4. Résistance du hublot	
			■	5. Position des contre-hublots	
	■			6. Imperméabilité des interrupteurs	
	■			7. Commande électrique des soupapes pneumatiques	
		■		8. Console indépendante de contrôle de l'état des soupapes*	
	■		■	9. Câblage d'interrupteurs à sûreté intégrée	
	■			10. Proximité du système à 24 et à 115 volts	
			■	11. Possibilité d'intervention de l'équipage – système de consoles	
	■		■	12. Système de surveillance du niveau des réservoirs	
			■	13. Possibilité de manœuvrer les soupapes manuellement	
	■			14. Système de surveillance du tirant d'eau	
	■			15. Emplacement de la pompe des ballasts	
	■			16. Réseau de tuyauterie des réservoirs	
		■		17. Ouvertures des ponts menant aux puits aux chaînes	
		■		18. Drainage des puits aux chaînes	
		■		19. Ouverture de ventilation et ouvertures des ponts menant aux cages d'escaliers	
			■	20. Synchronisation de l'évacuation	
■	■			21. Système d'évacuation	
				22. Basses températures	
	■			23. Vêtements de protection	
A	Facteur environnemental			C	Défektivité d'un système «non» critique
B	Défektivité d'un système critique			D	Rupture de la continuité technique

* L'absence de console indépendante de contrôle de l'état des soupapes ne peut être considérée comme étant un facteur de causalité.

pays doit être accompagné d'une règle relative à la formation minimale de ces personnes. Il revient au gouvernement de faire en sorte que les employés recrutés au pays soient qualifiés.» Je ne crois pas que le simple fait pour un exploitant de signer un accord avec un gouvernement particulier lui permette de transférer à ce gouvernement la responsabilité de la formation de l'équipage.

Je termine mes commentaires en soulignant la qualité de l'exposé de M. Brousard. J'ai eu beaucoup de difficultés à y trouver des failles. Merci de votre attention.

Résumé de la discussion générale

La question des règlements établis par les sociétés de classification concernant la conception des MODU, la façon dont ils sont compilés et mis en application et les effets des modifications apportées aux règlements sur les unités construites et sur celles dont la construction est en cours, a suscité beaucoup de controverse pendant toute la période de discussion. M. R.E. Johnson (NTSB) a critiqué le regroupement au sein d'une même catégorie des exigences relatives à la stabilité des semi-submersibles, des plates-formes auto-élévatrices et des navires de forage, étant donné que les forces et les réactions sont sensiblement différentes dans chaque cas. D'après lui, la plupart des recherches qui ont été faites jusqu'à maintenant sur la stabilité après avarie ont porté principalement sur les semi-submersibles. Même s'il était d'accord avec l'utilité des essais de modèles, il a souligné la difficulté d'établir un modèle représentant avec exactitude les effets de l'eau qui envahit les ponts et l'impact des vagues sur les structures des ponts, et de choisir des spectres de houle appropriés. Il s'est montré circonspect face aux problèmes que pose la transposition des résultats des essais en données utiles à l'utilisateur ultime à bord d'un navire ou d'une plate-forme. M. E. Dudgeon (CNR) a préconisé le recours à des simulations pour garantir l'exactitude des résultats des essais.

En ce qui a trait au choix de spectres de houle appropriés, M. L. Draper (*Institute of Oceanographic Sciences, R.-U.*) a répondu qu'il n'était pas possible d'utiliser un spectre de houle standard pour tous les essais de modèles parce que chaque région géographique possède son propre spectre d'énergie particulier.

M. W.H. Michel (Friede & Goldman) a répondu aux réserves exprimées par M. Johnson concernant les exigences en matière de stabilité en réaffirmant qu'il faut tenir compte à la fois du vent et des vagues pour établir et appliquer des critères de stabilité, et que les concepteurs devaient trouver une façon intelligente d'incorporer les résultats des essais de modèles et les calculs théoriques lorsqu'ils conçoivent des bâtiments en fonction des règles de stabilité.

M. Johnson n'était pas d'accord avec M. T. Haavie (Submarine Engineering) sur la nécessité de soumettre à un certain nombre d'essais d'inclinaison tous les modèles de plates-formes peu après leur construction. M. Haavie a toutefois insisté sur l'importance d'obtenir des résultats précis, ce qui, selon lui, justifiait la nécessité de procéder à

plus d'un essai d'inclinaison, malgré les coûts élevés que cela entraîne.

M. J. Pawlowski (CNR) a parlé du besoin de recherches sur la stabilité et s'est efforcé de situer la question dans un contexte plus vaste. Actuellement, la conception se concentre davantage sur les éléments de structure. D'autre part, la perte d'une unité est toujours reliée à une perte de stabilité et de flottaison. M. Pawlowski a fait valoir l'importance de la recherche préalable à la conception dans le processus de construction. À son avis, c'est l'évaluation du rendement du modèle final qui confirme l'efficacité de la recherche. Comme il n'y a pas encore de travaux de recherche bien coordonnés en cours dans ce domaine, il a pressé les organismes de recherche et de réglementation d'unir leurs efforts en vue de parvenir à une meilleure compréhension de la stabilité des constructions flottantes et de fournir aux concepteurs des données plus fiables à ce sujet.

M. V. Greif (SEDCO, Inc.) a commenté deux aspects de l'exposé de M. Broussard: 1) la responsabilité de la formation du personnel dans les régions soumises à des politiques locales en matière d'embauche; et, 2) la révision de la réglementation régissant la conception et les répercussions possibles de la clause d'antériorité. Il a fait valoir que c'était le rôle de l'industrie et non celui du gouvernement d'embaucher et de former la main-d'oeuvre locale, à condition que les contingents imposés n'exercent pas de pressions indues sur le programme de formation. M. T.S. McIntosh (IADC) a ajouté que lorsque des contingents sont imposés sans tenir compte de la disponibilité des travailleurs qualifiés et des besoins en formation des travailleurs non spécialisés, le gouvernement qui fixe ces quotas se trouve à assumer une part de la responsabilité de donner la formation, même si cette responsabilité peut être déléguée à l'industrie.

M. Greif a ensuite abordé la question de l'amélioration des unités existantes à mesure que la réglementation évolue en faisant remarquer que la plupart des unités sont exploitées avec succès depuis de nombreuses années, sans accident, et sans modifications majeures et qu'il n'y a donc aucune raison pour qu'on mette automatiquement hors de service les unités qui ne satisfont pas aux règles les plus récentes. Il a ajouté que, dans la plupart des cas, les propriétaires avisés améliorent leurs plates-formes lorsque les nouveaux règlements revêtent une importance capitale et que les modifications sont jugées utiles. Naturellement, cela suppose que les modifications

sont réalisables et qu'elles n'auront pas d'effet négatif sur d'autres éléments de l'unité. M. McIntosh a ajouté que Zapata Corporation donne suite à tout nouveau règlement au cours des étapes de la conception et de la construction d'une unité, lorsque la modification peut améliorer la fiabilité ou la sécurité de l'installation.

M. F. Atkinson (*Lloyd's Register of Shipping*) a fait remarquer que les nouveaux règlements n'ont pas tous la même portée ou la même importance pour la sécurité de la plate-forme et que, par conséquent, il importe d'évaluer soigneusement les modifications avant de poser des problèmes contractuels et financiers en exigeant la modification d'une unité déjà en voie de construction. M. Broussard (Sonat Offshore Drilling) s'est opposé à l'idée de ne pas donner suite à toutes les règles, même si une unité est en cours de construction, parce que les propriétaires exigent habituellement que les nouvelles unités satisfassent à toutes les règles les plus récentes, et non pas uniquement à celles qu'on juge les plus appropriées à un type d'unité en particulier.

M. J. Hornsby (Direction de la sécurité des navires de la GCC) a soulevé la question de la responsabilité de garantir qu'une installation est sécuritaire et convient à une fonction particulière, même si elle ne satisfait pas aux règles. Il a soutenu que l'État du pavillon, du fait qu'il gère l'attribution des permis aux plates-formes exploitées dans le territoire relevant de sa compétence, a la responsabilité de garantir que l'unité satisfait aux exigences. Cela est particulièrement vrai étant donné que les sociétés de classification se réservent le droit de décliner leur responsabilité dans leurs règlements. M. Hornsby a ensuite proposé que l'on confie l'établissement de normes internationales concernant les MODU à l'Organisation maritime internationale, et M. Manum (*Norwegian Maritime Directorate*) a acquiescé à cette façon de procéder.

M. Dudgeon a exprimé l'opinion que si une unité MODU était considérée comme un ensemble industriel complexe, alors son mode d'exploitation devait aussi être perçu de la même façon. Il a souligné l'importance de l'utilisation de modèles et de simulations, tant physiques qu'automatisés, pour aider à l'analyse et à la conception des systèmes, et le fait que les simulations étaient particulièrement efficaces comme outils de formation et pour analyser les scénarios de différentes situations hypothétiques.

M. Nigel Hendy (Burness, Corlett & Partners) a expliqué qu'on a beaucoup fait appel aux essais de modèles au cours des

enquêtes portant sur l'*Ocean Ranger*, et que les essais effectués par le CNR et la NHL étaient faits à partir d'une combinaison de charges dues au vent et à la houle, et de rafales de vent. Ces recherches ont démontré que bien que les forces de la houle prédominent dans des conditions d'amarrage en eau peu profonde, les effets des charges dues au vent peuvent devenir plus importantes si la profondeur de l'eau change ou si le genre de système d'amarrage ou l'état de ce dernier évoluent. M. Hendy termine son commentaire en disant qu'il partage l'opinion de M. Haavie à savoir que les contre-hublots, s'ils ne sont pas bien conçus et bien utilisés, peuvent rendre une unité dangereuse dans des cas d'inclinaison très marquée.

M. Ray Street (Hollobone, Hibbert) a remis en question l'importance accordée aux recherches sur l'analyse des structures et leur stabilité au regard des données disponibles sur les accidents qui indiquent qu'aucun d'entre eux n'est dû à un problème de stabilité hydrostatique. Il lui semble plus approprié de canaliser davantage d'énergie dans l'examen et l'assurance de la fiabilité des systèmes, dont la déféctuosité semble être plus souvent la cause des accidents.

M. Michel a défendu le point de vue qui met l'accent sur les recherches sur la stabilité et a ajouté qu'il est nécessaire d'établir des critères de stabilité appropriés et d'en connaître l'influence dans des conditions ambiantes extrêmes. M. Manum a aussi insisté sur l'importance de pouvoir établir des critères de stabilité après avarie, ce qui permettrait de prévenir les cas de chavirement et d'augmenter les chances de survie. Il considère que la stabilité après avarie est un élément particulièrement important en ce qu'elle permet à l'équipage d'une unité de disposer de suffisamment de temps, au moment d'un accident, pour mobiliser les appareils de sauvetage qui sont à sa disposition. Si la stabilité après avarie est insuffisante, il y a de fortes chances pour que le bâtiment chavire avant que l'équipage ait eu le temps de l'évacuer de façon sécuritaire.

M. G.L. Hargreaves (conseiller, R.-U.) a comparé les méthodes de certification et de classification en vigueur au Royaume-Uni. Le *Secretary of State* constitue la seule autorité ayant le pouvoir de permettre des exceptions aux règles, et ces exemptions ne sont approuvées qu'après consultation de l'organisme de certification et de ses conseillers. Selon l'expérience de M. Hargreaves, ces exemptions ne sont accordées

qu'après l'imposition de certaines clauses de compensation visant à garantir la sécurité de l'équipage. M. Manum a ajouté qu'en Norvège, c'est le *Norwegian Maritime Directorate* qui constitue l'organisme de certification. Il accorde beaucoup d'importance aux critères de stabilité après avarie, et travaille en étroite collaboration avec les sociétés de classification et en fonction de leurs critères.