

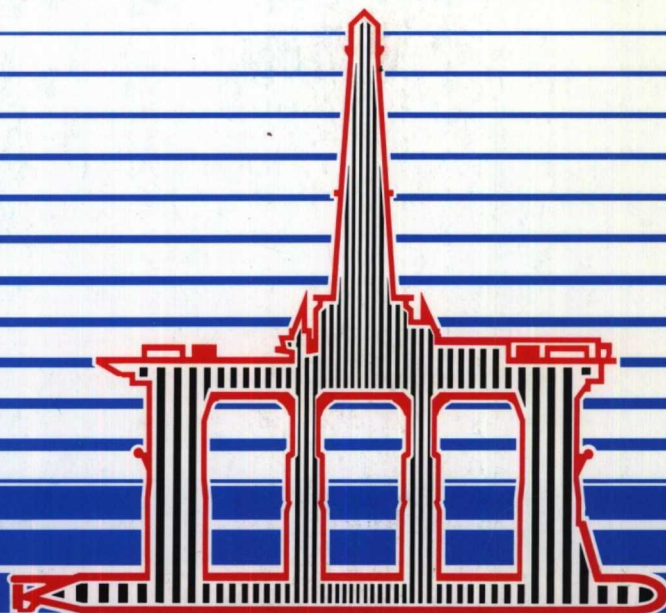
Royal Commission on the
Ocean Ranger Marine Disaster

Canada



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

Newfoundland & Labrador



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

TN871.3

.R414

v.3

c. 1 aa

TN871.3
.R414
v.3
c. 1 aa

ACCESS CODE CODE D'ACCÈS	<u>AEEX</u>
COPY / ISSUE EXEMPLAIRE / NUMÉRO	<u>e.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. *Études et séminaires***

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

© Ministre des Approvisionnements 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
Approvisionnement et Services Canada
Ottawa, (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue Z 1-1982/1-3F au Canada: \$16.75
ISBN 0-660-91466-2 à l'étranger: \$20.10

Prix sujet à changement sans préavis

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***

TABLE DES MATIÈRES

	AVANT-PROPOS	i
CHAPITRE UN	INTRODUCTION	
	Les risques inhérents au forage offshore	3
	<i>Séminaire: L'analyse des risques</i>	11
CHAPITRE DEUX	ENVIRONNEMENT	
	Systèmes de gestion des glaces	15
	Climatologie maritime	27
	Services de prévisions météorologiques	35
	Climatologie des vagues	41
	Informations océanographiques	51
	Données sur les fonds marins	59
	<i>Séminaire: L'environnement</i>	63
CHAPITRE TROIS	CONCEPTION	
	Évolution de la conception des unités mobiles de forage en mer	69
	Continuité de la conception à l'exploitation	77
	Conception des plates-formes auto-élévatrices	87
	<i>Séminaire: Les essais sur modèles</i>	93
CHAPITRE QUATRE	GESTION DE LA SÉCURITÉ	
	Gestion de la sécurité de l'industrie	97
	Hierarchie de commandement	101
	Communications	105
	<i>Séminaire: La gestion de la sécurité</i>	108
CHAPITRE CINQ	FORMATION	
	Formation relative au milieu marin et à la sécurité	113
	<i>Séminaire: La formation offshore</i>	123

CHAPITRE SIX	SANTÉ	
	Santé et sécurité au travail	129
	<i>Séminaire: La santé au travail</i>	139
CHAPITRE SEPT	ÉVACUATION ET SURVIE	
	Moyens d'évacuation et de survie	145
CHAPITRE HUIT	SAUVETAGE	
	Opérations de recherche et sauvetage	157
CHAPITRE NEUF	RÉGLEMENTATION	
	Réglementation de l'industrie de forage en mer	173
	Gestion de la réglementation canadienne	185
	APPENDICES	
	<i>Participants aux séminaires:</i>	
	A. L'analyse des risques	195
	B. L'environnement	197
	C. Les essais sur modèles	201
	D. La gestion de la sécurité	203
	E. La formation offshore	205
	F. La santé au travail	207

AVANT-PROPOS

Pour le deuxième volet de son mandat, la Commission royale d'enquête a entrepris une série de consultations dans le but de recueillir des renseignements précis, des opinions et des suggestions afin de trouver des moyens pratiques d'améliorer la sécurité des opérations de forage au large de la côte est du Canada. Des experts-conseils ont effectué une série d'études afin de donner un aperçu succinct mais complet de la situation dans les quatre principaux domaines d'intérêt: l'environnement, la conception, la sécurité et la formation, et la réglementation. Au total, vingt-quatre études ont été confiées par contrat à des experts-conseils de l'extérieur. Les rapports préliminaires ont été revus par le personnel de la Commission ainsi que par des représentants choisis du gouvernement et de l'industrie, mais les conclusions qu'on y trouve sont celles des auteurs. Il s'agit essentiellement de documents produits *pour* (et non *par*) la Commission.

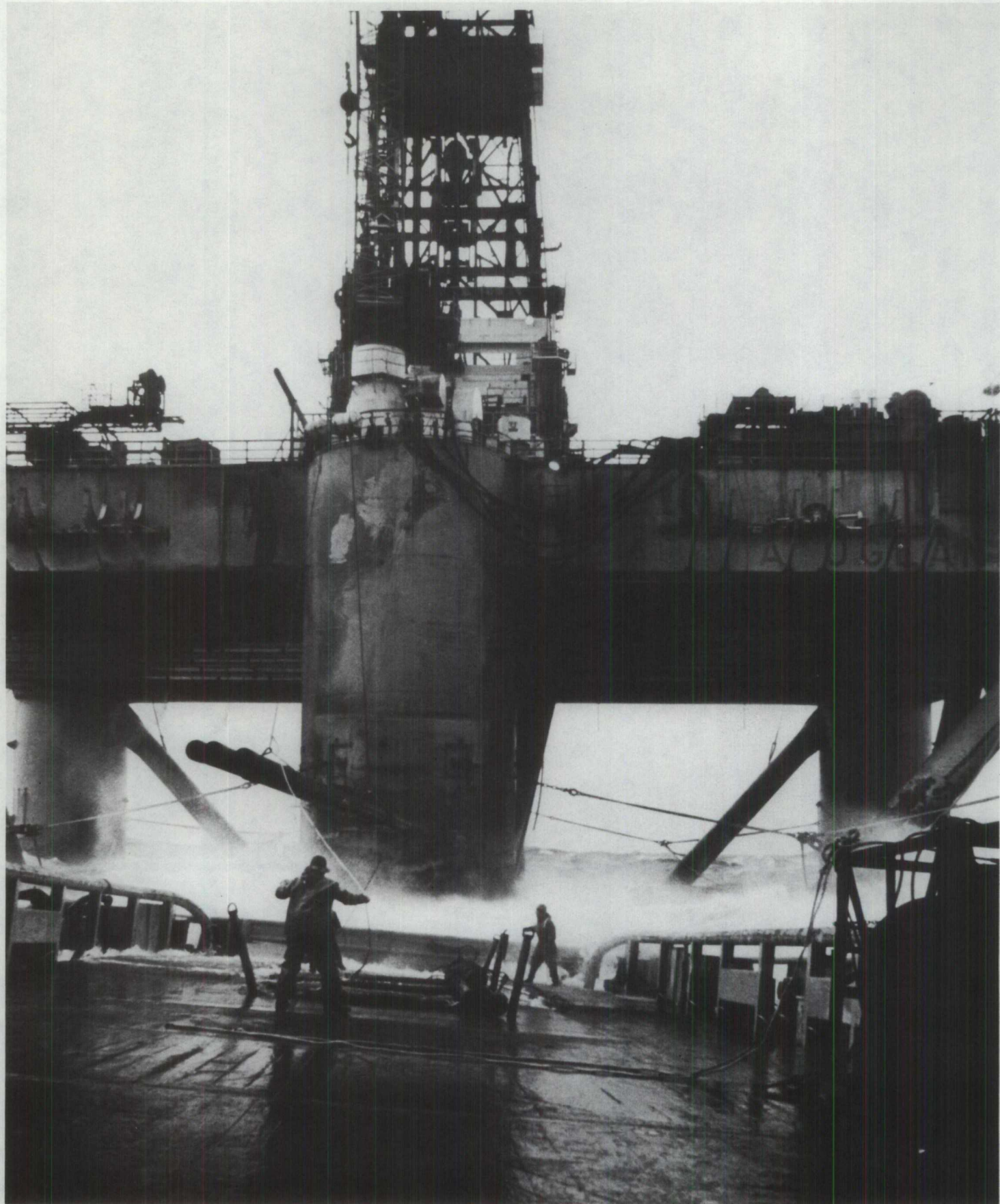
Des séminaires ont également été organisés pour permettre aux commissaires de se faire une idée précise des opinions et des connaissances des experts dans un certain nombre de secteurs clés. Les données techniques réunies au cours de l'enquête (partie un), les rapports rédigés dans le cadre des études de la deuxième partie, les mémoires et les propositions reçus, ainsi que les séminaires et la Conférence sur la sécurité au large de la côte est du Canada (voir le volume IV) forment tous une importante partie de la base de données du dernier rapport.

Le présent volume contient les résumés des comptes rendus des ateliers ou des séminaires et de certains rapports choisis. Ces résumés ont été rédigés par le personnel de la Commission et présentent l'essentiel du contenu de ces documents. La Commission royale d'enquête a déposé tous les comptes rendus des séminaires et rapports aux archives des gouvernements de Terre-Neuve et du Canada, à l'Institut canadien de l'information scientifique et technique du Conseil national de recherches du Canada, et au Centre des études de Terre-Neuve, à l'Université Memorial (Terre-Neuve).



1

INTRODUCTION



INTRODUCTION

LES RISQUES INHÉRENTS AU FORAGE OFFSHORE

Les risques inhérents au forage d'exploration du gaz et du pétrole au large de la côte est du Canada

M. Ian Burton,
Directeur de l'Institut des études environnementales
Université de Toronto,
Toronto (Ontario),
mai 1984

En cette fin du vingtième siècle, les gens semblent plus que jamais préoccupés par la notion de «risque acceptable». Cette attitude s'explique difficilement car, au Canada du moins, la vie aujourd'hui est plus sûre qu'elle ne l'a jamais été. Notre taux de mortalité infantile est l'un des plus bas au monde et les Canadiens vivent plus longtemps que les habitants de la plupart des autres pays. Nous vivons dans un pays développé et prospère, et notre richesse nous a permis de réduire les risques auxquels nous devons faire face. Comment expliquer alors que, paradoxalement, ces risques nous préoccupent, nous obsèdent même à ce point?

L'un des principaux facteurs qui entrent ici en ligne de compte est que la nature de ces risques a changé. Les progrès de la science et les applications de la technologie ont en fait créé de nouveaux risques. En général cependant, ces nouveaux risques se sont jusqu'ici avérés moins graves que les anciens que nous avons pourtant fini par contrôler et réduire. Dans l'ensemble, le progrès diminue les risques.

S'il est vrai que les Canadiens ont plus peur des risques que jamais, ce ne sont pas toujours les personnes les plus exposées qui sont les plus inquiètes. Les craintes que suscitent les dangers de l'exploration offshore le montrent bien. Plus on s'éloigne de la mer et plus les gens semblent se préoccuper de la sécurité des travailleurs, et peut-être plus particulièrement de la possibilité que l'environnement subisse des dommages. Dans un sens, c'est là un signe encourageant de maturité nationale; aucune civilisation contemporaine ne voudrait être prise à faire courir des risques inutiles à une partie de ses citoyens pour le bénéfice des autres. Toutefois, le problème des risques inhérents à l'exploration en vue de trouver du gaz et du pétrole en mer doit être abordé sans parti pris, avec discernement et objectivité.

Un certain nombre de nouvelles méthodes d'analyse ont été élaborées dans le but exprès de résoudre ces questions difficiles, souvent empreintes d'émotivité. Ces méthodes dites «d'évaluation des risques» permettent d'étudier les problèmes dans la perspective voulue et facilitent les choix fondés, au bout du compte, sur la connaissance, la compréhension, la sagesse et le bon sens. L'évaluation des risques ne constitue toutefois pas une panacée. Il s'agit d'une formule qui permet de prendre des décisions à partir d'une analyse quantitative. Le problème des risques ne s'en trouve pas pour autant réglé.

Pour bien comprendre ce problème, il faut d'abord se rendre compte que la sécurité «absolue» n'existe pas. Les risques font partie de la vie et la seule chose à faire est de les identifier, de les évaluer puis de les choisir en toute connaissance

de cause. S'inquiéter inutilement au sujet des mauvais risques n'améliore pas la sécurité mais augmente au contraire le risque global, car les risques réels sont alors ignorés et finissent par s'amplifier. Ainsi, lorsqu'un édulcorant artificiel (le cyclamate) a été retiré récemment du marché parce qu'on le disait cancérigène, les évaluateurs de risques ont indiqué que si les consommateurs de boissons gazeuses substituaient au cyclamate une quantité équivalente de sucre, on observerait un accroissement des cas d'obésité et de maladie cardiaque. Leurs calculs ont démontré que la consommation de tout ce sucre aurait des effets plus néfastes sur la santé que celle du cyclamate. Les efforts faits en vue de diminuer un risque ne produisent donc pas toujours les résultats escomptés.

En principe, la solution est d'équilibrer les choses, ou de tenir compte de l'ensemble des risques minimums. Les choses sont toutefois rarement aussi simples dans la réalité. Ce qu'il faut retenir de l'exemple qui précède, c'est que l'élimination apparente des risques ne constitue pas toujours la voie la plus sûre. Refuser de prendre le risque de chercher du gaz et du pétrole en mer pourrait bien s'avérer la solution la plus risquée. D'autre part, prendre des risques sans se protéger et placer volontairement les intéressés dans des situations trop risquées serait un acte d'irresponsabilité.

■ **LA DÉFINITION DES RISQUES** Dans la langue courante, un risque est «un danger éventuel plus ou moins prévisible». Les hommes de science ont toutefois une définition plus technique du terme: il s'agit de la probabilité d'un événement, multipliée par ses conséquences ou, lorsque plusieurs événements sont en cause, de la somme de la probabilité de ces événements multipliée par leurs conséquences. Conformément à cette définition, un risque comporte quatre éléments: la probabilité de l'événement; le laps de temps ou les conditions dans lesquels il peut se produire; ses conséquences; et la décision d'une personne ou d'un groupe de prendre le risque en question.

En principe, pour éliminer complètement les risques, il suffit d'éviter tout danger. Cependant, chaque fois que la chance, la nécessité ou l'appât du gain placent l'homme dans une situation dangereuse, il y a risques. La notion de sécurité découle de celle du risque. En pratique, mettre l'accent sur la sécurité n'est pas la même chose que mettre l'accent sur les risques. Les experts en sécurité croient que les choses ne sont jamais assez sûres et que la sécurité doit toujours être améliorée. Les analystes de risques doivent pour leur part déterminer d'abord le niveau réel de risque avant d'en établir le niveau acceptable.

L'évaluation des risques consiste à identifier, estimer et évaluer les risques dans un contexte économique, social et politique donné. L'identification et l'estimation des risques peuvent se faire de façon scientifique et peuvent, jusqu'à un certain point, s'exprimer quantitativement. L'évaluation des risques est un processus social qui permet de déterminer dans quelles conditions une activité donnée, génératrice de risques, devrait être effectuée.

■ **L'ANALYSE DES RISQUES** Il existe trois méthodes d'analyse des risques: l'analyse des données antérieures; la comparaison avec une situation semblable; et la modélisation. L'emploi des données recueillies antérieurement présente deux lacunes importantes. D'abord, il arrive souvent que les données nécessaires à une évaluation fiable des risques soient manquantes, ensuite les données antérieures peuvent être assez peu révélatrices de l'avenir. En général, l'expérience et les progrès de la technologie améliorent la sécurité. Toutefois, ces mêmes perfectionnements qui permettent d'effectuer des opérations sur une plus grande échelle augmentent aussi la possibilité d'assister à des catastrophes de plus grande envergure.

Lorsqu'on veut analyser les risques inhérents à l'exploration pétrolière au large de la côte est du Canada en faisant appel aux données antérieures, on fait face à un obstacle fondamental qui est l'insuffisance des données nécessaires pour produire un échantillon fiable à partir duquel évaluer les risques, notamment

dans le cas des événements peu fréquents. On peut alors essayer de profiter de l'expérience acquise ailleurs, mais il faut se demander s'il est raisonnable de croire que les risques inhérents à l'exploration pétrolière et gazière au large de la côte est du Canada sont semblables aux risques liés à des activités similaires dans la mer du Nord ou ailleurs dans le monde. Nouveau venu dans le domaine de l'exploration offshore, le Canada profite sans conteste de l'expérience des autres pays. Toutefois, les eaux canadiennes diffèrent de celles des autres régions du globe et les conditions environnementales y sont parfois plus difficiles. Il faut donc utiliser avec précaution les données et les estimations obtenues ailleurs et tenir compte des différences.

Étant donné les lacunes des deux premières méthodes d'analyse, on en a élaboré de nouvelles à partir du processus de modélisation théorique mis au point par la *U.S. National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Dans le domaine des vols spatiaux en effet, l'analyse des données antérieures s'avérait impossible, tout comme la comparaison avec des programmes similaires, comme ceux de l'URSS. Il a donc fallu trouver une autre méthode, la modélisation.

La modélisation recourt à deux modes d'analyse: l'étude analytique des pannes et l'étude analytique des événements. L'étude analytique des pannes part de la panne pour remonter à ses causes possibles. Elle peut servir à estimer les probabilités de pannes en déterminant le degré de probabilité rattaché à chaque cause. L'étude analytique des événements part de la cause et essaie d'en déterminer les conséquences possibles.

Dans ces deux types d'analyse, l'imagination est un facteur limitatif important. Il faut en effet imaginer d'abord le déroulement d'un accident avant de pouvoir en faire un modèle et de l'estimer. Dans un système complexe, tant de choses peuvent aller mal de tant de façons qu'il n'est pas toujours possible de tout prévoir.

■ **LES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES RISQUES** En matière d'évaluation des risques inhérents au forage d'exploration en mer, les méthodes de l'analyse des données antérieures, de la comparaison et de la modélisation peuvent être utilisées conjointement. Cependant, la modélisation exige plus de temps et d'argent que les deux autres. En raison du coût et des limites de cette méthode, et comme les opérations offshore au Canada ne sont pas encore très importantes, il semble donc préférable de recourir d'abord aux autres méthodes, plus simples et moins coûteuses.

Une fois les niveaux de risques réels mesurés, il faut encore franchir l'étape difficile de l'évaluation à laquelle participent de nombreux décideurs à différents paliers. Les gouvernements fédéral et provinciaux, les compagnies pétrolières, les propriétaires d'installations mobiles de forage offshore, les entrepreneurs, les travailleurs et leur famille immédiate, tous jouent un rôle dans cette évaluation. Tous ont leur propre perception des risques courus, laquelle varie selon la place qu'ils occupent et les responsabilités qu'ils assument. Les analystes des risques ont tendance à croire que seuls les risques mesurés sont «réels» tandis que les risques perçus par les autres intéressés, comme les travailleurs ou le public en général, sont en quelque sorte irréels ou disproportionnés. En réalité, tout dépend du point de vue. Même les méthodes scientifiques objectives supposent des jugements de valeur, souvent de façon détournée. Les deux façons de voir sont valables, et les décideurs doivent en tenir compte.

Il en va de même pour la somme ou le niveau de risques «acceptable». La question à se poser est alors la suivante: «acceptable pour qui»? Quand on demande à quelques personnes d'accepter de plus grands risques pour le bien de la majorité, des conflits sociaux sont possibles. Pour que ces conflits puissent se régler, il doit être entendu que ceux qui acceptent temporairement de courir ces risques seront rémunérés en conséquence et qu'il s'agit d'une situation «tolérée» et non admise à jamais. Toutefois, le fait que des travailleurs acceptent de se ren-

dre sur des installations de forage en mer pour un salaire compensatoire donné ne signifie pas qu'il faille cesser de chercher à diminuer les risques.

L'évaluation des risques consiste souvent à comparer une série de risques avec une autre soit avec les risques du milieu, avec les risques que présentent les solutions de rechange, avec d'autres risques de nature différente, ou avec les profits escomptés. Dans le cas du forage en mer, il est impossible de faire la comparaison avec les risques du milieu étant donné qu'il n'existe aucun niveau de risques pré-établi dans ce domaine qui permettrait d'évaluer un accroissement de risques. La deuxième méthode, qui consiste à établir la comparaison avec les risques que présentent les solutions de rechange, exige de comparer les risques du forage en mer et ceux de l'exploration terrestre ou d'une autre activité de production d'énergie comme l'extraction du charbon. Le troisième type de comparaison étudie les risques d'une activité par rapport à ceux d'autres activités de nature différente. À cet égard, l'usage de la cigarette est souvent cité; lorsqu'il est démontré que l'usage de la cigarette est plus dangereux que l'activité en cause, on en déduit que si les gens sont prêts à prendre le risque de fumer, ils n'auront logiquement aucune raison de refuser des activités générant moins de risques. Toutefois, la comparaison avec les risques que présentent les solutions de rechange ou avec des activités de nature différente ne fournit aucun motif d'accepter les risques en question. Ces méthodes sont en fait des formes de rationalisation. La quatrième méthode, celle qui consiste à comparer les risques encourus avec les bénéfices escomptés, constitue un meilleur critère d'évaluation des risques.

Ce type de comparaison s'appuie sur trois éléments: le coût, les bénéfices et les risques. Pour un projet ou une activité donnée, la solution idéale sera celle qui permet de retirer le plus de bénéfices au moindre coût et aux moindres risques. Après avoir évalué les risques inhérents à une activité particulière, il faut déterminer dans quelle mesure il est possible d'améliorer la sécurité par des dépenses supplémentaires. Lorsqu'il faut investir tous les profits ou bénéfices réalisés ou presque dans un système pour le rendre «suffisamment sûr», c'est que les risques sont probablement trop grands. Le niveau tolérable de risques et le niveau acceptable de profits ou de bénéfices ne sont pas des éléments fixes et tous deux peuvent varier selon les circonstances. Si, en principe, on doit chercher à obtenir le plus de bénéfices possible compte tenu des risques, dans la pratique certains jugements de valeur s'avèrent parfois nécessaires. À cette fin, il faut donc connaître les taux d'accidents et d'accidents mortels existants et pouvoir en évaluer la cause. Statistiquement parlant, un taux d'accidents calculé à partir des données recueillies sur une courte période n'est guère fiable; pour prendre des décisions rationnelles quant aux sommes qu'il convient de consacrer à la réduction des risques, il faut donc posséder une base de données adéquate permettant de calculer le niveau réel de risques.

La gestion des risques est essentiellement un processus décisionnel qui permet de réduire les risques de deux façons. La première consiste à élaborer et à utiliser de meilleurs systèmes afin de diminuer la probabilité d'accidents, et la seconde consiste à limiter les conséquences des accidents puisqu'il est impossible de les éliminer tout à fait. La limitation des conséquences est un aspect souvent négligé de la gestion des risques.

■ *LES RISQUES INHÉRENTS AUX OPÉRATIONS DE FORAGE EN MER* L'évaluation des risques inhérents aux opérations de forage en mer est soumise à de nombreuses restrictions. Étant donné sa nouveauté, cette activité se prête difficilement, voire pas du tout, à une analyse fondée sur des données recueillies antérieurement. Les installations mobiles de forage offshore du monde entier ne totalisent guère que quelque 5 000 années-installations et, à la fin de 1983, les installations de la côte est du Canada comptaient à peine 50 années-installations. La période étudiée est donc trop courte pour qu'il soit possible d'évaluer avec précision la fréquence des

accidents et surtout celle des événements rares, car les données existantes ne sont ni complètes ni fiables.

Les données recueillies par les gouvernements provinciaux au Canada sont incomplètes car on n'y indique pas de façon précise le nombre des heures-personnes travaillées. Par conséquent, il est impossible de calculer les taux d'accidents et de déterminer l'efficacité des mesures de sécurité. Les données du gouvernement fédéral sont également incomplètes parce qu'elles sont émagasinées sous forme de données «brutes» et qu'elles n'ont pas été résumées ou mises en tableaux. Le même problème se pose aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Norvège et l'analyse y est soumise aux mêmes restrictions. Lorsqu'on veut comparer les opérations effectuées dans différents pays, les problèmes engendrés par ces lacunes dans les données sont encore compliqués par l'absence d'un système de compte rendu normalisé. À l'heure actuelle, les données relatives à tous les pays ne sont ni complètes ni fiables, et on ne peut les comparer vraiment. Il faut donc se servir de son jugement pour décider quelles sources de données ou d'estimations sont les plus fiables. En général, on utilise les chiffres les plus élevés car si des accidents ou des accidents mortels peuvent avoir été omis, on considère qu'il est peu probable que d'autres aient été inventés. On juge aussi plus prudent de surestimer les risques plutôt que de les sous-estimer. Sans les exagérer, on cherche avant tout à ne pas les sous-estimer.

La connaissance des causes est une étape importante de l'analyse des risques. Lorsque certaines causes sont plus fréquentes que d'autres, elles deviennent la cible prioritaire du processus de gestion des risques. Dans le domaine de l'exploration pétrolière en mer, les principales causes d'accidents sont le temps et d'autres facteurs environnementaux; la conception et le fonctionnement des installations offshore elles-mêmes; et la capacité des personnes à bord de faire face à une situation dangereuse. L'étude des rapports d'accidents en mer révèle que ces trois éléments entrent presque toujours en ligne de compte.

Attribuer une cause unique à un événement ou considérer une cause donnée comme un événement isolé est toujours une simplification. En principe, la façon logique d'analyser un événement dangereux est d'identifier le «déroulement des faits». On peut alors calculer les risques en fonction de la probabilité de l'ensemble des faits et non de celle de faits isolés. Lorsqu'on ne peut procéder ainsi, l'analyste doit se fonder sur des concepts plus simples en vue de lier les accidents survenus à des causes précises. Cette classification statistique des causes présente de graves lacunes. On observe en effet certains chevauchements entre les catégories et il arrive que des accidents soient liés non seulement à l'installation elle-même mais aussi à d'autres activités telle la plongée.

Det norske Veritas a récemment établi une banque mondiale de données sur les accidents en mer et tout indique que le nombre des accidents mortels par 1 000 travailleurs offshore a baissé de 1970 à 1978 (de 1979 à 1982, trois accidents graves ont toutefois coûté la vie à 277 personnes). En fait, sur les 486 décès survenus en mer dans le monde de 1970 à 1982, 349 (72 pour cent) sont attribuables à quatre désastres importants. Aux fins de l'analyse des risques, il paraît donc raisonnable de diviser les accidents mortels et les blessures associés aux opérations de forage offshore en deux catégories distinctes: les désastres maritimes et les accidents du travail. Dans le cas des désastres maritimes, il faut chercher avant tout à rendre les installations de forage offshore moins vulnérables aux accidents pouvant entraîner leur destruction totale et à élaborer des plans et des mesures d'urgence visant à sauver le plus grand nombre de personnes advenant un désastre. Dans le cas des accidents du travail, les mesures de sécurité appliquées à terre sont sans doute suffisantes à condition qu'on y apporte les modifications nécessaires.

À ce jour, l'étude la plus complète jamais réalisée en Amérique du Nord sur

la sécurité des activités d'exploration et de production de pétrole en mer est une étude du *US National Research Council* intitulée «Safety of Offshore Oil – Report of the Committee of Assessment of Safety of Offshore Continental Shelf Activities» (1981). Cette étude signale les lacunes des données existantes et déplore le fait qu'il n'existe aucune source globale de données sur les accidents survenus dans la zone externe du plateau continental des États-Unis. Il s'ensuit que les données sur la sécurité au travail ne sont pas fiables et ne peuvent être comparées au niveau national ou international. Les auteurs de l'étude concluent qu'il faudrait établir une formule normalisée de compte rendu d'accidents qui serait recueillie par un organisme central si l'on veut réunir les renseignements requis pour mieux comprendre les facteurs de causalité et les caractéristiques des travailleurs sur lesquels il faudrait se pencher pour améliorer la sécurité.

D'après l'étude, à la fin de 1979, quelque 61 500 travailleurs américains occupaient un emploi régulier dans les domaines de l'exploration, de la mise en valeur et de la production de pétrole et de gaz au large du plateau continental. Cette estimation paraît toutefois contestable puisqu'aucun recensement n'a jamais été fait. Le *US Geological Survey* rapporte 116 accidents ayant entraîné la mort de 187 travailleurs entre 1970 et 1978. De 1962 à 1977, le nombre des heures-personnes a quadruplé, mais la fréquence des accidents a baissé de 35 pour cent. Si on compare les risques inhérents au travail en mer à ceux que présentent d'autres industries, la fréquence des blessures paraît comparable à celle que l'on enregistre dans des industries comme les mines, le transport maritime et la construction lourde, et les taux de blessures et de maladies par 100 travailleurs à plein temps semblent à peu près les mêmes que dans l'industrie manufacturière. Toutefois, dans ce genre de comparaison, il faut tenir compte du fait que la définition du mot «blessure» et les pratiques de compte rendu varient considérablement d'une industrie et d'une compagnie à l'autre. La comparaison des taux de blessures mortelles dans le golfe du Mexique et dans la mer du Nord montre que l'incidence des blessures mortelles est plus faible dans le golfe du Mexique et relativement stable. L'étude indique également que le nombre des décès a tendance à diminuer dans la mer du Nord.

Les auteurs de l'étude attribuent également une bonne partie de la responsabilité des accidents du travail à des limites, des attitudes et des caractéristiques humaines. L'expérience semble un facteur déterminant en ce sens que 76,5 pour cent des blessés avaient moins d'une année d'expérience et 54,8 pour cent moins de six mois. Les auteurs concluent que le principal élément à prendre en compte pour accroître la sécurité au travail n'est pas la technologie, mais bien l'amélioration de l'exécution.

Une grande étude menée en 1980 sur la sécurité dans le secteur britannique de la mer du Nord a fait l'objet d'un rapport intitulé «Offshore Safety», bien connu sous l'appellation de «rapport Burgoyne». Comme tous les autres rapports fiables sur le sujet, le rapport Burgoyne déplore la non-disponibilité des données et leur mauvaise qualité. Les auteurs doutent aussi de la valeur des chiffres se rapportant aux accidents mineurs parce que ceux-ci ne sont pas toujours signalés. De même, les chiffres sur les situations dangereuses paraissent peu fiables car on ignore si la définition de ce qui doit faire l'objet d'un compte rendu est la même partout et parce qu'il est difficile d'amener tous les intéressés à faire ces comptes rendus.

Selon les estimations du *UK Department of Energy*, le nombre des travailleurs dans le secteur britannique de la mer du Nord est passé de 4 030 en 1974 à quelque 12 500 en 1978. Le taux d'accidents mortels par 1 000 employés est de 0,8 à 2,0, ce qui se compare au taux de 0,6 à 1,12 par 1 000 «travailleurs par année» aux États-Unis et à celui de 1,7 à 2,8 par «1 000 années-personnes» dans le secteur norvégien de la mer du Nord. Il n'est cependant pas certain que ces estimations soient comparables car le «par 1 000 employés» utilisé dans l'étude britanni-

que et le «par 1 000 employés par année» de l'étude américaine ne correspondent pas nécessairement au «par 1 000 années-personnes» de la Norvège.

Les auteurs du rapport Burgoyne concluent qu'un travailleur offshore est deux fois plus susceptible d'être victime d'un accident qu'un travailleur de l'industrie manufacturière et à peu près à moitié moins exposé qu'un mineur. Toutefois, un accident en mer risque davantage d'être mortel.

Plus d'études détaillées et complètes sur les risques ont été menées pour le compte de l'industrie pétrolière norvégienne offshore que pour toute autre industrie au large. Ces études découlent de la nécessité d'estimer les niveaux de risques avant de poser des jugements sur les niveaux et les méthodes de sécurité. Néanmoins, le rapport rédigé en 1979 par le *Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research* et intitulé «Risk Assessment, A Study of Risk Levels Within Norwegian Offshore Petroleum Activities» fait état des mêmes problèmes relativement aux données. On y note de grandes divergences dans les différentes sources de données en raison de définitions, de méthodes de collecte et de champs d'application différents.

D'après les estimations les plus hautes, la main-d'oeuvre employée sur le plateau continental norvégien est passée de 100 années-personnes en 1966 à 16 705 années-personnes en 1978, et le nombre des années-personnes a triplé entre 1975 et 1978. Quatre-vingt-deux travailleurs norvégiens et étrangers ont été victimes d'accidents mortels à bord de différentes installations offshore, de 1966 à 1978. Le secteur où l'on a enregistré le plus d'accidents mortels est celui de la mise en valeur qui fait appel à des hélicoptères. L'analyse des données révèle que 42 pour cent des 82 accidents mortels signalés sont survenus à la suite d'un écrasement ou d'un amerrissage d'hélicoptère; 21 pour cent sont dus à ce qu'on pourrait appeler des accidents du travail; 11 pour cent se sont produits durant une évacuation d'urgence (y compris lors de l'échouage du *Deep Sea Driller*); 10 pour cent sont des accidents de plongée; 4 pour cent se sont produits dans le cadre des opérations de forage; et 12 pour cent sont dus à des causes diverses. L'industrie offshore norvégienne a enregistré un taux d'accidents mortels de l'ordre de 1,7 à 2,8 décès par 1 000 années-personnes au cours de cette période. Si on exclut des données les accidents d'hélicoptère et l'échouage du *Deep Sea Driller*, ce taux n'est plus que de 0,85 à 1,4 décès par 1 000 années-personnes.

Les auteurs du rapport signalent que la fréquence des accidents en mer sur les plates-formes fixes et mobiles est comparable à celle d'activités terrestres telles l'exploitation minière et la transformation du bois. Les accidents semblent plus fréquents sur les installations mobiles de forage en mer que sur les installations fixes, sans doute à cause des activités de forage. Afin de réduire la fréquence des accidents, les auteurs suggèrent d'étudier ce secteur plus attentivement.

■ **LES RISQUES AU LARGE DE LA CÔTE EST DU CANADA** Étant donné la nouveauté des opérations en mer dans l'est du Canada et l'absence de données fiables et complètes, il a fallu faire un certain nombre de suppositions pour estimer le nombre total d'années-installations d'exploitation et la taille de l'effectif. Les estimations obtenues permettent néanmoins de faire certaines comparaisons. Ainsi, dans l'exploration pétrolière, la fréquence des blessures invalidantes est à peu près la même au large de la Nouvelle-Écosse qu'en Norvège, compte tenu du nombre estimé d'heures-personnes travaillées. On ignore cependant si les exigences en matière de compte rendu des blessures sont les mêmes aux deux endroits. Au plus, peut-on dire que les taux semblent similaires et qu'aucune différence radicale n'a été décelée. Les taux moyens de fréquence des blessures avec perte de temps ou des blessures invalidantes au large de Terre-Neuve sont du même ordre de grandeur qu'en Nouvelle-Écosse et en Norvège.

Cependant, la valeur des données moyennes de fréquence paraît douteuse lorsque l'écart entre les données de base est très grand. Par exemple, une semi-

submersible au large de Terre-Neuve signalait en 1980 une moyenne de 56,48 accidents par mois, mais les valeurs mensuelles variaient de 0 accident durant sept mois à 217,7 accidents en un seul mois. Il n'est pas impossible qu'un tel écart soit dû à une modification radicale des conditions, comme une forte accumulation de glaces sur le pont mais il est plus probable qu'on a omis de signaler un certain nombre d'accidents. Ainsi, pour 1980, la Direction générale du pétrole de Terre-Neuve et du Labrador ne possède des données que pour trois installations, alors que d'autres sources indiquent qu'il y avait huit installations en opération au large de la province cette année-là. De 1978 à 1983, la fréquence des blessures avec perte de temps à Terre-Neuve et au Labrador est généralement plus faible qu'en Norvège pour la même période mais, encore une fois, l'imprécision des données et le fait qu'on ignore si elles sont vraiment comparables ne permettent guère de conclusions définitives. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'elles ne sont pas entièrement divergentes.

■ **CONCLUSIONS** Si les taux d'accidents et d'accidents mortels constituent au Canada d'importants moyens d'évaluer des risques, il faut aussi assurer le contrôle de la sécurité et la production de données comparables grâce à une formule de compte rendu d'accidents normalisée recueillie par un organisme central possédant l'autorité nécessaire pour vérifier si les données fournies sont complètes et précises. En outre, la normalisation des catégories d'accidents et des définitions paraît souhaitable à l'échelle nationale comme à l'échelle internationale.

Sur la côte est du Canada, le taux annuel de risques d'accidents mortels auxquels les travailleurs à bord d'installations pétrolières offshore doivent faire face varie de 0,006 à 0,0004. Cette estimation n'est guère précise, mais c'est la seule qu'il soit possible de faire à l'heure actuelle. Les données disponibles sur les taux d'accidents dans les quatre pays étudiés ne permettent même pas ce type d'estimations; aux termes de cette analyse, il semble toutefois que ces taux soient à peu près les mêmes dans les quatre pays.

Si on compare l'exploration offshore aux industries terrestres, le forage en mer et les autres activités connexes semblent plus sûres quant aux accidents du travail, mais plus dangereuses quant à la faible probabilité d'un «désastre maritime». Bien entendu, la brièveté de la période étudiée interdit toute analyse des risques fondée sur ce type d'activités. L'un des axiomes de l'analyse des risques est que si on peut réduire la fréquence des accidents, on ne peut les éliminer complètement; la gestion des risques doit prévoir des mesures en vue de réduire les effets des accidents lorsque ceux-ci se produisent.

Résumé du séminaire sur l'analyse des risques

Le 2 mai 1984, la Commission royale d'enquête parrainait un séminaire d'une journée sur l'application des techniques d'analyse à l'identification et l'évaluation des risques inhérents aux opérations de forage en mer. Les participants étaient des représentants de différents groupes de réglementation de l'industrie offshore, ainsi que de l'industrie nucléaire où les techniques d'analyse des risques sont employées depuis de nombreuses années dans le cadre du processus décisionnel.

L'analyse des risques suppose une estimation de la probabilité et des conséquences de différents événements fâcheux; il ne s'agit nullement de «prédire» l'avenir, mais bien plutôt de permettre aux responsables de prendre des décisions rationnelles en vue de réduire la fréquence ou les conséquences de ces événements. L'analyse des risques permet aussi de traiter de grandes quantités de données afin de faciliter l'étude et l'évaluation.

Les participants ont signalé un certain nombre de lacunes relativement à l'analyse des risques. Il est très difficile par exemple d'estimer la probabilité et les conséquences d'événements à faible probabilité, et les estimations faites dans ce cas font souvent l'objet de controverses. De plus, les techniques d'analyse des risques comportent toujours un élément subjectif, surtout lorsque les données objectives sont douteuses ou inexistantes, et les résultats des analyses reflètent l'opinion et le jugement des analystes. Ceux-ci doivent aussi se rendre compte que les améliorations apportées à la technologie et les mesures importantes prises en vue de corriger les effets d'événements passés peuvent réduire l'efficacité des comparaisons avec les données historiques ou antérieures.

Au Canada et aux États-Unis, l'industrie nucléaire emploie les techniques d'analyse des risques depuis près de vingt ans; au cours des dix dernières années, ces techniques sont devenues un outil de décision important au chapitre des problèmes industriels et de la réglementation dans un grand nombre d'industries, y compris l'industrie du gaz et du pétrole, à terre et en mer. Le processus a été rendu plus efficace suite aux développements survenus dans les domaines de l'informatique et de la simulation sur ordinateur, notamment lorsqu'un très grand nombre de données doivent être traitées. Les participants croient généralement que les avantages de l'analyse des risques l'emportent sur les restrictions découlant de la nécessité d'assurer le caractère qualitatif des données.

À ce jour, dans l'industrie pétrolière offshore, le *Norwegian Petroleum Directorate* est le seul organisme qui ait établi des règles concernant l'application des techniques d'analyse des risques. Afin de laisser une place aux différentes méthodes d'évaluation et d'encourager les exploitants à élaborer des techniques appropriées aux opérations offshore, ces règles sont plutôt des lignes directrices que des règlements. Un représentant de l'organisme affirmait que malgré les réticences initiales de l'industrie, tous les exploitants procèdent maintenant à des analyses plus approfondies que ne l'exigent les lignes directrices établies. De l'avis de tous, la réglementation en matière d'analyse des risques doit éviter de chiffrer arbitrairement les niveaux de risques «acceptables» sous peine de détourner l'attention du but poursuivi et de transformer l'analyse en un exercice visant à prouver que telle situation est «suffisamment sûre». L'exploitant doit être convaincu qu'il procède à l'évaluation pour son propre bénéfice, afin d'identifier les problèmes et d'apporter des solutions efficaces.

L'emploi des techniques d'analyse des risques pour évaluer les installations et les opérations offshore existantes semble une solution raisonnable et profitable. Cependant, l'utilisation de ces mêmes techniques au moment de la conception des systèmes offshore pourrait améliorer encore davantage la sécurité. Plus tôt on

a recours aux techniques d'analyse des risques durant l'étape de la conception plus on a de chances d'identifier les facteurs de risques et d'en tenir compte.

De nombreuses discussions ont porté sur la perception qu'a le public des risques et sur les responsabilités des organismes de réglementation vis-à-vis ce même public, les travailleurs offshore et l'industrie pétrolière. On a dit que les organismes de réglementation devraient avoir pour mandat d'établir les niveaux de risques «acceptables» en comparaison par exemple avec les risques encourus par les travailleurs dans d'autres industries. Les niveaux de risques devraient aussi être fixés en fonction des bénéfices éventuels et les organismes de réglementation devraient choisir de protéger les intérêts de ceux qui ne sont pas en mesure d'influer sur le processus décisionnel. L'analyse des risques apparaît comme un complément à d'autres influences plus subjectives comme la perception du public et les profits attendus des activités offshore.

En général, tous les participants s'accordent à dire que l'information obtenue par l'application judicieuse et systématique des techniques d'analyse des risques est beaucoup plus complète que celle qui peut être obtenue à la suite d'une inspection intuitive moins organisée. L'analyse des risques est un excellent outil d'identification et d'évaluation des niveaux de risques et permet d'élaborer des méthodes visant à éliminer ou à atténuer les conséquences de ces risques.



2

ENVIRONNEMENT



ENVIRONNEMENT

SYSTÈMES DE GESTION DES GLACES

Revue de l'information sur les glaces du secteur offshore de l'est du Canada
 NORDCO Limited,
 Saint-Jean, Terre-Neuve,
 août 1984

Évaluation des systèmes de gestion des glaces à l'appui des forages d'exploration au large de la côte est du Canada
 Manadrill Drilling Management Inc.,
 Calgary, Alberta,
 août 1984

Trois types de «glaces» sont présents dans la zone à l'étude: les icebergs, la glace de mer et les précipitations ou embruns verglaçants. Ces derniers provoquent le givrage des structures, problème bien connu pour ce qui est des bateaux de pêche mais qui n'est source de préoccupation que depuis peu dans le cas des installations de forage en mer. Les deux autres types de glace, toutefois, figurent déjà depuis nombre d'années parmi les facteurs pris en compte pour établir le calendrier de forage et déterminer le type d'installation à employer. Le forage toute l'année n'est possible qu'au large de la Nouvelle-Écosse et, sous réserve de surveiller les icebergs et – à l'occasion – les glaces de mer, sur les Grands bancs. À ces deux endroits, on utilise couramment des installations de forage semi-submersibles, encore que, dans les eaux peu profondes de l'île de Sable et dans le golfe Saint-Laurent, on leur préfère souvent les installations auto-élévatrices. Plus au nord, au large de la côte du Labrador et dans le détroit de Davis, le forage ne se fait que durant les mois d'été et l'on utilise des navires de forage à positionnement dynamique ou des installations semi-submersibles suffisamment mobiles pour pouvoir s'écarter de la trajectoire des glaces à bref délai. En ce qui concerne l'extrême nord, dans le détroit de Lancaster, des permis ont été demandés, mais le forage proprement dit n'a pas encore commencé.

Aucune des installations de forage déployées jusqu'ici au large de la côte est n'était conçue pour résister aux glaces, bien que, sur certaines installations semi-submersibles, les colonnes verticales aient été spécialement renforcées. Les bateaux de service, notamment ceux qui évoluent au large du Labrador, sont souvent équipés pour naviguer dans les glaces – c'est le cas, par exemple, des bateaux des classes Arctique 2 ou 3 définis par la Lloyd's – car ils sont fréquemment appelés à remorquer des icebergs ou à faire dévier des blocs de glace de taille plus petite.

C'est au début des années 1970 qu'ont été élaborées les méthodes employées par le secteur industriel pour faire face au problème des icebergs qui menacent les opérations sur le plateau du Labrador. La stratégie de gestion des glaces repose sur l'esquive. La sécurité des opérations de forage dépend de la capacité de repérer les glaces (ou les icebergs potentiellement dangereux) assez tôt pour qu'il soit possible de les faire dévier ou d'éloigner l'installation de forage de leur trajectoire. La possibilité de collision entre un iceberg et une installation de forage se limite par conséquent aux situations où l'on ne repère pas les glaces assez tôt pour qu'il soit encore possible de déplacer l'installation et à celles où il n'est pas possible de faire dévier les glaces ni de déplacer l'installation, pour quel-

que raison que ce soit.

■ **LES ICEBERGS** Les icebergs se définissent d'après leur masse approximative. Les plus petits, appelés bourguignons, ont un franc-bord d'un mètre ou moins, font jusqu'à six mètres de longueur et ont une masse de 200 tonnes ou moins. Les *berg bits* ont une hauteur apparente (hauteur de la partie émergée) de un à cinq mètres, font de six à vingt mètres de longueur et ont une masse se situant entre 200 et 7 000 tonnes. Les icebergs qui dépassent ces dimensions approximatives sont tout simplement qualifiés de petits, de moyens, de grands ou de très grands, les tailles relatives étant déterminées pour chaque catégorie.

La taille et la forme de l'iceberg influent directement sur la possibilité de le repérer, sur son comportement sous l'action des forces environnementales ou des tactiques de détournement et sur la force de l'impact en cas de collision avec une plate-forme offshore.

La méthode habituellement employée pour calculer les dimensions de la partie émergée d'un iceberg consiste à mesurer les angles à l'aide d'un sextant et les distances au moyen du radar ou d'un télémètre visuel. Comme il existe un rapport fixe entre la masse de la partie émergée et celle de la partie immergée de l'iceberg, on peut alors estimer la masse totale à l'aide de formules établies. Il arrive qu'on fasse appel à la stéréophotographie aérienne pour estimer la masse des icebergs. La longueur et le tirant sont aussi des dimensions importantes. Habituellement, on mesure le tirant au moyen d'un sonar latéral ou on l'estime à partir de la densité de la glace et de la taille du polyèdre que forme la partie émergée de l'iceberg.

La principale source de données sur les dimensions des icebergs au large de la côte est constituée par les observations faites par les sociétés pétrolières aux fins de leurs programmes de forage offshore. Les données collectées sur les lieux de forage indiquent que, bien souvent, les bourguignons ne sont pas repérés même lorsqu'ils se trouvent à moins de dix kilomètres et, lorsqu'ils sont repérés, ils ne sont pas toujours inclus dans les statistiques.

La taille maximale crédible des icebergs n'a pas forcément d'incidence majeure pour la conception ou la sécurité des installations de forage. La probabilité d'apparition d'un iceberg atteignant la taille maximale crédible est très faible; il est encore plus improbable qu'il frappe une structure, car il serait facile de le repérer et de le suivre; enfin, la probabilité qu'un iceberg de ce genre entre en collision avec une structure à une vitesse que l'on pourrait qualifier d'appréciable est pratiquement nulle. Si la probabilité d'impact est maintenue constante, le niveau d'énergie maximal d'une éventuelle collision doit être considéré non pas en fonction d'un iceberg atteignant la taille maximale crédible, mais d'un iceberg beaucoup plus petit se déplaçant plus rapidement.

Chaque année, des dizaines de milliers d'icebergs se détachent des glaciers de l'ouest du Groenland et, dans une moindre mesure, de l'île Baffin, mais seule une fraction d'entre eux parviennent à s'échapper des fjords et à pénétrer dans la baie Baffin; quant à ceux qui survivent au voyage le long des côtes de Baffin et du Labrador – 3 000 kilomètres en deux ans – ils sont encore moins nombreux. Au sud du 49° de latitude nord, la trajectoire des icebergs se ramifie en deux branches: l'une d'elles suit la côte vers le sud et emprunte le chenal Avalon; l'autre passe au large et suit la lisière est des Grands bancs. Une fois qu'un iceberg s'est libéré de la banquise et dérive en eaux libres et tièdes, il se désagrège rapidement. Un petit berg flottant dans des eaux dont la température est de +2°C aura disparu au bout de neuf jours environ; si la température de l'eau est de 10 °C, la fonte sera achevée en trois jours.

Le nombre d'icebergs passant une ligne donnée dans un délai donné est appelé débit d'icebergs; dans les eaux de l'est du Canada, sa principale caractéristique est la variabilité. Le débit maximal s'observe habituellement en avril et en

mai sur les Grands bancs, en mai au large du Labrador et en juillet dans la baie Baffin; le débit minimal survient en octobre, novembre et décembre dans toutes les régions. Le débit annuel à la hauteur du 48° de latitude nord, dont le Service international de recherche des glaces tient le registre depuis 1913, se situe entre zéro et pas moins de 1 500 icebergs par année, chiffres qui disent assez le caractère extrême de la variabilité interannuelle.

L'information sur la taille et la répartition des bergs présente aussi de l'intérêt du point de vue opérationnel. Pour ce qui est de la côte du Labrador, les deux facteurs sont assez bien connus parce que l'on a accumulé des masses de données au cours des années 1970, alors que l'activité de forage a battu son plein durant plusieurs années. En ce qui concerne les Grands bancs, la base de données est loin d'être aussi développée. Des analyses portent à penser que, dans les eaux du Labrador, le tiers environ de tous les icebergs présentent une masse en déplacement d'un million de tonnes ou plus, tandis que sur les Grands bancs, quelque dix pour cent seulement sont aussi gros. Les «populations» sur lesquelles reposent ces pourcentages ne comprennent pas les *bergy bits* ni les bourguignons de moins de 1 000 tonnes, faute de données fiables sur leurs nombres. Ils ont tendance à disparaître rapidement, ils sont difficiles à repérer par mauvais temps et, lorsqu'ils sont repérés, ils ne sont pas toujours signalés.

Le déplacement des icebergs est régi principalement par le vent et par les courants. Comme ces deux facteurs varient considérablement dans le temps et dans l'espace, on observe des variations importantes dans la vitesse et la trajectoire des icebergs, même sur des distances de quelques kilomètres à peine. Il est possible de tirer quelques conclusions concernant la vitesse de dérive des icebergs des zones offshore de l'est du Canada. Pour les lieux à l'écart du courant principal, la vitesse de dérive observée sur plusieurs jours se situe entre 0,10 et 0,25 mètres par seconde (m/s) alors qu'elle s'établit à 0,50 m/s dans les secteurs où le courant est fort. On a relevé à quelques reprises des vitesses de dérive s'établissant à 2,0 m/s pour de brèves périodes et des moyennes quotidiennes de 1,5 m/s dans des secteurs à fort courant soumis à de fortes tempêtes. Il y a fort peu de données quantitatives et pas du tout de données pratiques sur les vitesses acquises instantanément par les petits icebergs, comme les bourguignons, dans les vagues.

À l'heure actuelle, le champ Hibernia est le seul secteur pour lequel ont été proposés des critères de conception à l'égard des vitesses maximales de dérive des icebergs. Et la Direction du pétrole de Terre-Neuve et du Labrador, et Mobil Oil Canada Ltd. ont proposé de considérer un maximum de 1,0 m/s. Bien qu'aucun critère théorique n'ait été proposé pour le Labrador, l'*Offshore Labrador Initial Environmental Assessment* fait état d'une vitesse maximale de dérive de 0,80 m/s. D'autres recherches donnent à penser que le chiffre relatif au secteur Hibernia représente un maximum à long terme et que les deux données doivent de toute façon être réévaluées.

La dérive des icebergs comporte un deuxième aspect qui a de l'importance pour l'élaboration de modèles de probabilité d'impact (aspect que plusieurs modèles existants ne prennent pas en ligne de compte): il s'agit de la direction de la dérive. Les analyses des données collectées sur les lieux de forage de la mer du Labrador montrent que, bien qu'on puisse habituellement observer un schéma de dérive dominant, les icebergs se déplacent dans toutes les directions.

Les propriétés mécaniques de la glace définissent sa solidité, élément important lorsqu'il s'agit de déterminer l'effet de l'impact de cette matière contre une structure. On utilise différents types de charges (compression, pliage, entaillage, cisaillement, traction) pour identifier différents modes de rupture (fissurage, écrasement). Le point de rupture définit la solidité. Les propriétés mécaniques sont difficiles à quantifier parce qu'elles varient en fonction de la température, de l'âge de

la glace, de la teneur en saumure et du mode de formation de la glace. Cette variabilité naturelle ne peut être reproduite en laboratoire et les mesures «sur le terrain» sont difficiles à obtenir. En outre, si la glace est soustraite à son cadre naturel, nombre des variables qui influent sur ses propriétés mécaniques (température, drainage de la saumure) se modifient radicalement. C'est pour ces raisons qu'il existe peu de mesures des propriétés mécaniques de la glace.

La glace des icebergs se caractérise par la présence de petites bulles d'air emprisonnées au moment de la formation du glacier, alors que la pression transforme la neige en glace. Ces petites bulles d'air comprimé ont un diamètre de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre et sont au nombre de quelques centaines par centimètre cube. Les quelques résultats d'essais dont nous disposons indiquent que la glace d'iceberg présente une solidité supérieure à celle de la glace de lac, par exemple; cette caractéristique serait attribuable à la présence des bulles, lesquelles semblent freiner la propagation des fissures.

■ *LA GLACE DE MER* La glace de mer se forme par le gel de l'eau de mer en surface; la banquise est de la glace de mer flottant librement. Une fois qu'une couche de glace s'est formée, son apparence révèle sa phase de formation. Aussi a-t-on pu élaborer une terminologie de classification qui permet d'identifier la glace en fonction de son âge, depuis la glace jeune (glace mince de formation récente et de couleur sombre) jusqu'à la glace de première année (glace épaisse plus ancienne et de couleur blanche). La glace qui survit à la fonte estivale est soumise au drainage de la saumure. Il s'ensuit que cette glace plus ancienne (glace de deuxième année ou glace de plusieurs années) est infiniment plus solide que la glace de première année.

La banquise s'étend parfois jusqu'au secteur Hibernia durant les mois d'hiver et la lisière de glace se trouve d'habitude juste au nord des lieux de forage au large du Labrador, au début de la saison. Dans toute la partie nord de la région à l'étude (baie Baffin, détroit de Lancaster), la glace de mer est présente durant la majeure partie de l'année et compliquerait toute activité de forage. Quant à la banquise du golfe Saint-Laurent, bien qu'elle couvre parfois le nord du plateau continental Scotian, elle n'a jamais été signalée à l'île de Sable.

Les données sur les types et les concentrations de glace de mer proviennent d'observations faites depuis des navires ou la terre, du haut des airs ou par satellite et elles sont traitées par le Centre des glaces du Service de l'environnement atmosphérique (SEA). Le Centre utilise des aéronefs et diffuse de l'information sur les glaces des Grands bancs, de la côte du Labrador et du golfe Saint-Laurent. Le service s'est beaucoup amélioré dernièrement avec l'adoption du radar aéroporté à antenne latérale. En raison de l'étendue de la région géographique à couvrir et de la portée du mandat du SEA, qui doit desservir aussi bien les entreprises de transport maritime que l'industrie pétrolière, le survol du secteur Hibernia l'hiver et de la côte du Labrador au printemps est limité à une fois tous les deux ou trois jours, mais cette fréquence peut varier considérablement. Pour les deux régions indiquées, l'industrie pétrolière a mis au point ses propres programmes de reconnaissance des glaces qui complètent le travail du SEA.

La glace de mer nouvelle commence à se former à la fin de septembre dans le nord de la baie Baffin et elle progresse lentement vers le sud. À la fin de décembre, la côte du Labrador est complètement envahie par les glaces et la glace commence à se former dans le golfe Saint-Laurent. À la mi-mars, la glace de mer a atteint sa superficie maximale: elle couvre la majeure partie du golfe Saint-Laurent et une bonne part de la partie nord des Grands bancs. La glace commence à fondre en avril, et en mai, les deux régions sont habituellement dégagées. Sur la côte du Labrador, la fonte survient en juin et en juillet. À la mi-août, la banquise ne s'étend pas, vers le sud, au-delà de la baie Baffin. C'est habituellement à la mi-septembre qu'on observe la moindre étendue de glace de mer. Les variations sai-

sonnières quant à la chronologie et à l'étendue de la couverture de glace peuvent aller jusqu'à un mois environ.

La vitesse de progression de la lisière de glace est le facteur le plus important à prendre en ligne de compte pour les activités de forage qui se déroulent près de la lisière de la banquise. C'est en effet ce facteur qui détermine le temps disponible pour faire quitter les lieux à l'installation. Des analyses des vitesses de dérive de la banquise au large du Labrador tendent à indiquer que la vitesse de dérive maximale observée s'établit à 0,8 m/s, les vitesses moyennes se situant entre 0,17 et 0,32 m/s. La plupart des mesures disponibles concernent la banquise; on peut supposer que les floes isolés se déplacent infiniment plus vite. Les mesures de la vitesse de dérive de la glace de mer sur les Grands bancs sont rares; toutefois, on a relevé une vitesse de progression de la lisière de glace vers le secteur Hibernia s'établissant à 277 km par semaine (vitesse moyenne de 0,43 m/s). Normalement, c'est dans le secteur du courant du Labrador, lorsque les vents soufflent en force du nord ou du nord-ouest derrière un système de basse pression, que l'on observe une progression rapide de la banquise sur les Grands bancs. Les cartes des glaces du SEA font état d'une situation de ce genre en mars 1973, alors que le déplacement de la glace de mer vers le sud, par le chenal Avalon, atteignait une vitesse de plus de 50 km/jour (0,6 m/s).

Bien que la glace de mer de première année dépasse rarement deux mètres d'épaisseur par le seul processus de la congélation, les autres conditions présentes dans l'environnement de la banquise peuvent favoriser la formation de floes beaucoup plus épais. Le chevauchement, phénomène par lequel une couche de glace se superpose à une autre, est un facteur qui contribue à l'empilement de la glace mince; quant à la formation d'une crête, phénomène par lequel une ligne de glace brisée est soulevée ou abaissée brutalement sous l'effet d'un contact entre des fragments individuels soumis à une pression, elle peut survenir dans la glace épaisse et causer la formation de floes encore plus épais à mesure que les blocs de glace qui constituent la crête gèlent ensemble. Ce deuxième phénomène se produit surtout dans les zones présentant de fortes concentrations de glaces de diverses épaisseurs et où les floes s'entrechoquent fréquemment. Habituellement, la formation d'une crête survient lorsque les courants pressent la banquise contre la terre ou contre la glace attachée à la terre. De plus, les crêtes ont toutes les chances de conserver leur identité si elles sont formées dans un environnement froid où le mouvement des vagues se fait peu sentir. Pour toutes ces raisons, le phénomène de la formation de crêtes est plus fréquent dans les parties nord de la région à l'étude que sur les Grands bancs.

Des mesures de l'épaisseur des glaces dans la mer du Labrador permettent de déterminer que l'épaisseur moyenne de la glace de première année durant les mois d'hiver se situe entre 0,5 et 3 mètres, l'épaisseur maximale s'établissant à près de 5 mètres. Les mesures des floes de plusieurs années sont peu nombreuses, mais les données disponibles indiquent qu'il est possible que leur épaisseur soit supérieure à 14 mètres. Il n'y a pas suffisamment d'observations représentatives faites sur les Grands bancs pour déterminer les épaisseurs moyenne ou extrême de la glace de mer dans ce secteur.

La répartition des tailles de floes dans la zone à l'étude varie en fonction de la région, de la saison et de l'éloignement par rapport à la lisière de glace. Les plus gros floes, que l'on peut observer dans la baie Baffin et au large de la côte du Labrador au cours des mois d'hiver, peuvent atteindre des dizaines de kilomètres de diamètre et sont composés de floes plus petits qui se sont amalgamés. Comme ces floes se fragmenteraient vite sous l'action de la houle, c'est loin en-deçà de la lisière de glace qu'on les trouve normalement. En hiver, près du bord de la banquise du Labrador, s'étend habituellement une zone de cinq à dix kilomètres de largeur dans laquelle nagent de petits floes fragmentés d'un

diamètre de dix à vingt mètres. Des mesures de la taille des floes faites sur les Grands bancs indiquent que, dans la zone s'étendant à moins de 100 kilomètres de la lisière de glace, la plupart des floes ont un diamètre de moins de 30 mètres. Encore une fois, faute de données suffisantes, il n'est pas possible d'estimer la taille maximale des floes dans cette région.

La glace de mer se mesure aussi en fonction des crêtes, car cet élément de la surface de la glace peut avoir une incidence sur les interrelations entre la glace et l'installation. D'après des données collectées au large du Labrador à l'aide d'un laser de télémétrie, la hauteur apparente de la plus grande crête observée atteignait trois mètres. Si l'on utilise un rapport hauteur apparente/tirant d'eau de 3:1/5:1, nous obtenons des épaisseurs de crête maximales se situant entre 12 et 18 mètres. D'après les mêmes données statistiques, la crête typique de cette région atteint une hauteur de 1,5 mètre environ et une épaisseur totale se situant entre six et neuf mètres. On dispose de peu de mesures de la hauteur des crêtes sur les Grands bancs.

Il existe des mesures limitées des propriétés mécaniques de la glace de mer; la plupart ont été faites au large du Labrador et aucune sur les Grands bancs. La solidité de la glace de mer varie principalement en fonction de la température et du volume de saumure. En règle générale, la glace ancienne, c'est-à-dire de plusieurs années, présente une plus grande résistance à la rupture que la glace de première année.

■ **LE GIVRAGE** Le givrage peut être causé soit par des embruns verglaçants ou par les vagues qui s'abattent sur la structure, soit par des phénomènes atmosphériques comme les précipitations verglaçantes, le givre blanc qui se forme dans les nuages, le brouillard et la neige mouillée qui gèle au contact d'une surface. Ces phénomènes, notamment lorsqu'ils se produisent simultanément ou l'un à la suite de l'autre, ont un certain nombre de conséquences directes et indirectes pour les opérations de forage. La charge de glace diminue la stabilité des plates-formes de forage et des navires de soutien; le givre blanc restreint les vols des hélicoptères et des avions; les croûtes de glace augmentent les risques d'accidents sur le pont; et plusieurs de ces phénomènes compliquent l'utilisation de l'équipement de sauvetage, comme les embarcations et les radeaux de sauvetage. Les recherches visant à déterminer les conditions et les charges maximales de givrage pour les navires de service et les plates-formes se heurtent à la carence de données fiables sur l'accumulation de la glace sur les structures offshore.

Les embruns verglaçants, la source la plus courante de givrage, se forment lorsque la température des gouttelettes d'embruns descend sous le point de congélation sans que les gouttelettes ne gèlent. Lorsque ces gouttelettes surfondues entrent en contact avec une surface froide, le givrage se produit. Le taux d'accumulation de la glace formée par les embruns verglaçants est fonction de la vitesse relative du vent, de l'état de la mer, de la température de l'air et de l'eau et des caractéristiques physiques de la structure. Un petit navire, comme un bateau de service offshore, naviguant dans le vent sur la mer libre commencera à causer la formation d'embruns lorsque la vitesse du vent se situera entre 17 et 21 noeuds; il sera aspergé d'embruns quand le vent soufflera à une vitesse de 22 à 27 noeuds. Les embruns issus du sommet des vagues, source première du givrage des installations mobiles de forage offshore, n'ont pas d'incidence majeure tant que les vents n'ont pas atteint des vitesses de l'ordre de 41 à 47 noeuds. L'accumulation de glace causée par les embruns commence à poser un problème lorsque la température de l'air est de -3°C et le taux d'accumulation augmente à mesure que la température de l'air baisse. La formation d'embruns verglaçants tend à régresser à mesure que la température à la surface de la mer s'élève au-dessus du point de congélation, mais des cas de givrage alors que la température de l'eau faisait pas moins de 6°C ont déjà été signalés.

Les rapports courants de météorologie marine qu'envoient les navires et les installations de forage au large de la côte est du Canada comprennent un minimum d'observations relatives au givrage par embruns. Les renseignements sont toutefois fortement limités en raison du manque de détails, des différences de modalités et du fait que les navires omettent souvent de faire état de ce facteur dans leurs rapports. Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a tenté de rassembler une série de données de meilleure qualité de 1968 à 1979, mais l'étude n'embrassait qu'une région limitée et dépendait de rapports provenant de bateaux de pêche. Pour compenser la limitation des données, on a élaboré un certain nombre de modèles de prévisions empiriques et théoriques devant permettre de calculer le taux de givrage par embruns de mer à partir de diverses combinaisons de températures de l'air, de vitesses des vents et de températures à la surface de la mer.

Le givrage par embruns de mer pose un problème dans toutes les régions de la zone à l'étude. Le givrage le plus intense survient en février partout, sauf dans les régions où le couvert de glace est saisonnier; à ces endroits, le givrage se produit avant le gel. D'après les prévisions d'une étude réalisée pour le compte de Mobil Oil sur le givrage par embruns sur les lieux de forage d'Hibernia et de l'île de Sable, la fréquence moyenne de givrage intense en février s'établit à 8 pour cent à l'île de Sable et se situe entre 9,5 et 12,5 pour cent dans le secteur Hibernia. L'étude précise aussi quelques paramètres propices aux conditions de givrage le plus intense dans le secteur Hibernia, les conditions globales les pires étant constituées par des vents froids du nord-ouest derrière un système de basse pression, notamment un système bloqué sur la mer du Labrador durant plusieurs jours. L'étude fait état d'une charge de glace maximale potentielle attribuable au givrage par embruns de l'ordre de 549 tonnes, sous réserve d'un certain nombre de pré-suppositions concernant le type d'installation et la répartition de la glace sur cette dernière.

Les sources atmosphériques des accumulations de glace sur les structures offshore et sur les véhicules de service comprennent les précipitations verglaçantes, le brouillard surfondu (givre dans les nuages) et la neige mouillée qui se transforme en glace. La neige qui s'accumule sur les ponts mais qui ne gèle pas entre aussi dans cette catégorie.

Les sources de données sur le givrage atmosphérique dans la zone à l'étude sont constituées par des rapports météorologiques provenant de navires de passage, des plates-formes de forage et de stations à terre. Aucune d'elles n'est entièrement fiable. Bien que les observations communiquées par les navires de passage constituent le gros de l'information, elles forment rarement un registre continu d'une situation donnée de givrage. Les plates-formes de forage, au contraire, assurent une couverture continue mais donnent peu de détails et conservent peu de registres à long terme. Les rapports des stations terrestres donnent des détails sur les conditions de givrage mais rarement des mesures précises. Dans tous les cas, les rapports seraient plus utiles s'ils faisaient état de mesures de la quantité de précipitations et de l'épaisseur de la glace sur les surfaces ordinaires. Pour contourner le problème que posent les carences de la base de données, on a mis au point diverses méthodes de calcul de l'épaisseur de la glace à partir de la vitesse des vents, de la température de l'air et des précipitations observées.

On estime que les précipitations verglaçantes, c'est-à-dire la pluie ou la bruine verglaçante, se produisent moins de un pour cent du temps – quel que soit le mois considéré – dans le secteur Hibernia, mais on dispose de peu de données sur les autres secteurs. Le givre blanc est causé par le brouillard surfondu qui gèle au contact d'une surface. Vu sa faible teneur en eau, ce type de givrage ne pose habituellement pas de problème sur les plates-formes ni sur les navires, mais il peut en constituer un grave pour les objets qui se déplacent rapidement, comme

les hélicoptères ou les avions. Bien souvent, les prévisions de givre blanc interdisent les sorties aériennes ou forcent les pilotes à changer d'altitude ou à modifier leurs plans de vol. Ce problème peut se poser avec gravité dans les situations d'urgence, alors que les hélicoptères sont incapables de voler en raison du givre blanc ou qu'un aéronef est incapable de changer d'altitude à cause de problèmes mécaniques.

Lorsqu'on calcule la charge de glace sur les navires et les plates-formes de forage, il faut prendre en considération la possibilité que les différents types de phénomènes de givrage se manifestent simultanément ou l'un à la suite de l'autre. Les auteurs d'une étude faite pour le compte de Mobil Oil sur le secteur Hibernia concluaient qu'une situation dans laquelle les embruns de mer, des précipitations verglaçantes et la neige s'associeraient créerait les plus fortes accumulations de glace, qu'il était improbable que ces phénomènes se produisent ensemble mais qu'ils pourraient souvent se produire l'un à la suite de l'autre et qu'ils étaient relativement indépendants (c'est-à-dire que les risques sont minimes qu'une manifestation maximale d'embruns verglaçants soit suivie d'une manifestation maximale de précipitations). Pour déterminer la charge maximale de glace de toutes sources (marine et atmosphérique), on a utilisé la manifestation maximale d'embruns verglaçants à laquelle on a ajouté 50 pour cent de la manifestation maximale de précipitations verglaçantes pour obtenir une charge de glace combinée de 831 tonnes (l'accumulation de neige représentait 17 pour cent de ce chiffre). Les tentatives pour estimer les charges de glace, et notamment les extrêmes ou les phénomènes centenaires, se heurtent au manque de bases de données fiables couvrant 20 ans ou plus et au fait que le gros des données collectées le sont par des navires qui ont tendance à éviter les secteurs où l'on signale du givrage intense. C'est pourquoi l'étude de Mobil Oil identifiait les manifestations les plus fortes plutôt qu'elle ne cherchait à calculer le phénomène centenaire.

Le manque d'observations fiables sur le givrage des bateaux de service et surtout des plates-formes de forage semi-submersibles pose des problèmes aux concepteurs, aux exploitants et aux organismes de réglementation qui doivent estimer et contrôler l'accumulation de glace sur les structures offshore. Aspect d'une importance particulière: le manque de compréhension du phénomène du givrage du dessous des plates-formes, des profils verticaux des degrés de givrage et de l'incidence du givrage sur l'utilisation de l'équipement de sauvetage.

■ *LA GESTION DES GLACES.* Pour les besoins de la pratique actuelle du forage sur la côte est, on présume que l'on repérera la glace à temps de façon à prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité de l'installation quels que soient les conditions atmosphériques ou le type d'activité de forage en cours. À cette fin, on a mis en place un système de gestion des glaces qui, à ce jour, a donné de bons résultats. On ne signale aucun cas d'avaries graves causées à des installations ou à des navires de service par la glace. Il est toutefois largement admis qu'il y a place pour beaucoup d'améliorations si l'on souhaite conserver un dossier de sécurité impeccable.

Pour les opérations de forage, la glace flottante ne pose un problème appréciable qu'à partir des Grands bancs en allant vers le nord. Au cours des hivers 1982-1983 et 1983-1984, la région des Grands bancs a connu des conditions de glace rigoureuses sans précédent depuis que le forage hivernal a commencé. Des programmes devant permettre de faire face à la situation ont vite été mis au point à partir de l'expérience acquise antérieurement au Labrador, où le forage se pratique dans un environnement de banquise et d'icebergs. Le principe de la chose consiste à éviter tout contact avec la glace. Les programmes comprennent principalement un mécanisme précis de surveillance des glaces, un mécanisme ponctuel de détection des glaces et un ensemble de modalités de détournement des glaces par remorquage ou par balayage avec l'hélice ou de déplacement de l'installation

de forage.

L'efficacité de toute stratégie de gestion des glaces tient à la capacité technique de repérer, de surveiller et de mesurer la glace et son mouvement de façon systématique. Sur chaque installation de forage, un observateur est toujours en poste. On a pu établir de façon concluante un lien entre le rendement du repérage, d'une part, et la formation technique, l'expérience pratique et la vigilance constante des observateurs, d'autre part. Le principal outil de détection à bord est le radar de marine, dont les informations sont enrichies des observations radar et visuelles provenant d'autres sources, habituellement les bateaux et les aéronefs de service. Une fois repérée, la glace est surveillée à intervalles réguliers dans le but d'évaluer l'intensité de la menace qu'elle fait peser et de déterminer s'il y a lieu de prendre les mesures prévues pour éviter la collision. La décision que suppose cette éventualité dépend des facteurs suivants: la distance à laquelle se trouve la glace; la taille et le tirant d'eau de l'iceberg (au regard des dommages pouvant être causés à la tête de puits); la vitesse de dérive, la direction et la trajectoire de la glace; le délai d'immobilisation sécuritaire que suppose le déplacement de l'installation; et les contraintes d'ordre environnemental comme les conditions atmosphériques et l'état de la mer. Les modalités de détermination de l'intensité de la menace reposent sur un schéma de zones d'alerte concentriques dont l'installation de forage constitue le centre.

Les programmes de gestion des glaces font appel à des informations d'importance régionale et d'importance locale. Les données d'importance locale proviennent des observateurs en poste sur les installations de forage; quant aux données d'importance régionale, elles proviennent tout à la fois d'organismes gouvernementaux, d'organismes commandités par l'exploitant et de sources d'occasion. Dans le cas des installations de forage à positionnement dynamique, le contrôle local est habituellement suffisant, car ces installations peuvent se déplacer assez rapidement. Il faut beaucoup plus de temps pour déplacer les installations amarrées et la décision d'interrompre les opérations ou de mettre en marche le processus de déplacement doit être prise peu après que l'iceberg ou la banquise ont pénétré dans la zone de surveillance locale. Comme la dernière ligne de défense de l'installation mobile de forage offshore est son dispositif d'amarrage à dégageement rapide, il importe que ce dispositif soit fiable, facile à actionner et parfaitement maîtrisé. Il faut disposer de données sur les glaces d'importance régionale dans les cas où les installations de forage sont groupées et où une mesure d'évitement comme le remorquage d'un iceberg qui menace une installation pourrait mettre en danger une autre installation.

Bien que les opérations de forage de la zone à l'étude n'aient pas à ce jour connu d'accidents graves mettant en cause les glaces, un certain nombre de problèmes se posent quant à la disponibilité et à la fiabilité des données nécessaires à la prévision des glaces et quant au caractère approprié des dispositifs de repérage des glaces en usage actuellement.

Les icebergs ne font pas de bonnes cibles pour le radar; la portée maximale de repérage est limitée du fait de la faible hauteur de l'écho et le repérage à courte distance est limité en raison de la concurrence des échos de vagues. Des recherches faites à l'aide de différents types de radars ont donné lieu à toute une gamme d'estimations de la capacité de repérage des icebergs qu'affichent ces appareils. De nombreux chercheurs ont constaté que, dans la mesure où la visibilité le permet, la plupart des icebergs sont repérés visuellement avant que les radars de marine n'en retransmettent l'écho et que les icebergs de toutes tailles, mais notamment les bourguignons, échappent souvent à tout repérage.

Grâce à leur capacité de fonctionner de jour comme de nuit et par tous les temps, les radars de visualisation (radar aéroporté à antenne latérale et radar à antenne synthétique) se sont révélés de fort précieux outils de repérage, bien que

la plus grande confusion existe quant à leur capacité réelle de repérage de ce qui constitue essentiellement des cibles ponctuelles. Le radar aéroporté à antenne latérale est affligé d'une limite qui peut se révéler un grave défaut dans un secteur où la circulation est dense, comme sur les Grands bancs: la difficulté de distinguer les navires des icebergs. En revanche, il constitue un instrument idéal pour la reconnaissance de la glace de mer, car il peut distinguer les types de glace et donner des informations précises sur la position de floes de plusieurs années, par exemple, situés au milieu d'une banquise de glace de première année relativement inoffensive. Les essais et l'évaluation de ces appareils et d'autres appareils de repérage se poursuivent.

La mauvaise visibilité, qui limite l'efficacité de la reconnaissance visuelle aérienne et l'observation visuelle à grande distance depuis les installations en surface, pose un problème d'importance sur les Grands bancs. De plus, par grosse mer, les navires de service sont souvent gênés dans leurs mouvements et de ce fait incapables d'accomplir parfaitement leur travail de reconnaissance alors qu'il est le plus nécessaire. L'information fournie par l'équipage des navires de soutien n'est pas toujours fiable parce qu'il n'y a pas à bord de ces bâtiments d'observateurs qualifiés.

Considérée individuellement, chaque méthode de repérage des glaces (aérienne, marine, visuelle et radar) a ses carences. Grosso modo, on utilise, pour la reconnaissance stratégique à grande distance en amont du lieu de forage, un mélange de reconnaissance visuelle à partir d'un aéronef et depuis un navire avec emploi du radar aéroporté à antenne latérale, et, pour la surveillance tactique à courte distance, un mélange de radars de marine et d'observations visuelles faites depuis les plates-formes de forage et les navires de service, qui brossent le tableau de la situation régionale. Même si toutes ces méthodes sont employées de concert, il est possible que de petites cibles passent inaperçues, notamment durant les tempêtes, alors qu'il est d'une importance cruciale de disposer d'information détaillée et exacte.

■ **LA RÉGLEMENTATION** Des normes de conception et de construction des installations, et notamment des installations mobiles de forage offshore, exploitées dans des eaux envahies par les glaces ont été élaborées par les sociétés de classification, principalement pour des questions d'assurances. La Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques et son règlement d'application, le Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires, stipulent les normes de conception et de construction applicables aux installations évoluant au nord du 60° de latitude nord. Ces instruments divisent l'Arctique canadien en dix régions géographiques et précisent le moment de l'année où une classe donnée de navires peut pénétrer dans une région donnée.

Les *Normes provisoires de conception, de construction et d'exploitation des installations mobiles de forage offshore*, document proposé et publié récemment par la Garde côtière canadienne, exigent le calcul des forces appliquées par la glace et la neige et de l'incidence de l'accumulation de glace et de neige sur la structure de l'installation, mais elles ne précisent ni la méthode à employer pour effectuer ce calcul, ni le degré d'exactitude à atteindre. Les *Normes provisoires* exigent aussi le calcul des charges totales de glace pour les phénomènes centenaires, mais le présent rapport démontre qu'il n'existe pas de données suffisantes sur la plupart des paramètres relatifs aux glaces pour calculer de façon réaliste les phénomènes centenaires.

Ce manque de données à long terme de nature fiable se complique du manque d'expérience des organismes de réglementation pour ce qui est des exigences propres aux opérations de forage d'exploration qui se déroulent dans des milieux facilement envahis par les glaces. Plusieurs pays d'Europe ont énoncé des règles de conception des installations mobiles de forage offshore appelées à être expo-

sées à des conditions climatiques hostiles. Les installations doivent présenter certaines caractéristiques, comme des surfaces sans aspérités pour donner prise le moins possible au givrage des structures, des aires de travail couvertes et des lieux de rassemblement en cas d'urgence et, dans certains cas, un renforcement contre les glaces, bien qu'il n'y ait aucune certitude quant à l'efficacité du renforcement en cas de collision avec de la glace de glacier. Diverses tentatives ont aussi été faites par la Direction générale du pétrole de Terre-Neuve et du Labrador et l'*American Bureau of Shipping* pour coupler les critères de conception aux conditions de glace. Des études théoriques révèlent que les avaries qui seraient causées à une installation mobile de forage offshore par un petit fragment de glace passé inaperçu seraient probablement plus graves que celles que décrivent les Normes provisoires. Là encore, toutefois, aucune expérience à grande échelle n'a été effectuée pour confirmer les constatations initiales.

Les organismes de réglementation s'attardent très peu au fonctionnement de l'équipement d'urgence – bateaux de sauvetage et mécanismes de mise à l'eau – exposé aux embruns ou aux précipitations verglaçantes; en outre, les règlements ne sont guère explicites sur la capacité des embarcations ou des radeaux de sauvetage d'évoluer à travers les glaces de la banquise sans que leur coque ne soit perforée.

■ **CONCLUSIONS** Généralement parlant, on peut conclure que la glace seule constitue rarement un danger pour le forage d'exploration en mer et pour les opérations de soutien, pourvu qu'on ait mis en place de bonnes modalités de gestion des glaces et qu'on les mette en application. Toutefois, les assauts combinés de la glace et d'autres facteurs, comme du mauvais temps ou une panne d'ordre mécanique, peuvent constituer un danger pour les opérations offshore.

L'étude fait état d'un certain nombre de lacunes dans nos connaissances des icebergs. La plus importante concerne l'évaluation de la probabilité et des conséquences d'une collision, par mauvais temps, entre un bourguignon, un *bergy bit* ou un petit iceberg et une structure de forage. Tous les aspects de ce problème sont mal connus, y compris la fréquence de passage de ces icebergs; les méthodes de repérage et de gestion des icebergs, notamment par mauvais temps; le déplacement des icebergs par grosse mer; et les conséquences d'une collision avec une structure ou une installation, étant donné le manque actuel de connaissances sur les forces à l'oeuvre.

Parce que les modalités actuellement en vigueur dans la zone à l'étude commandent que l'installation de forage quittent les lieux en cas d'approche de la glace de mer et parce que la glace de mer est assez facile à repérer, ce facteur ne menace pas la sécurité des personnes.

Bien que le givrage des superstructures des plates-formes de forage et des bateaux de service n'ait pas à ce jour posé de problème majeur dans la zone à l'étude, il y a lieu de déterminer la charge de glace maximale acceptable sur les plates-formes et sur les navires ainsi que son incidence sur la stabilité et sur le fonctionnement de l'équipement de sécurité.

La structure organisationnelle et les modalités de gestion des glaces actuellement en vigueur assurent une protection appropriée contre les risques liés aux glaces dans la zone à l'étude. Des améliorations notables ont été apportées ces trois* dernières années à l'égard des opérations se déroulant sur les Grands bancs. La recherche et le développement se poursuivent sur de nombreux fronts et le personnel chargé des opérations acquiert de la compétence en matière de détournement des icebergs et de rationalisation des modalités d'alerte et d'abandon. Le gouvernement a pris l'initiative d'un processus de collaboration visant à coordonner l'ensemble des activités de reconnaissance et de gestion des glaces. Les intervenants s'entendent généralement sur la nécessité de poursuivre les recherches sur les systèmes de repérage et de surveillance des glaces*: afin d'éta-

blir un base de données cohérente sur l'environnement physique; afin que les règlements et les lignes directrices soient le fruit de recherches plus solides; et aux fins de la révision et de la normalisation, par un groupe de gestion composé de représentants du gouvernement et de l'industrie, des modalités de repérage et de contrôle des glaces actuellement en vigueur dans la zone à l'étude.

Revue des connaissances actuelles dans le domaine de la climatologie marine sur la côte est du Canada

V.R. Swail et L.D. Mortsch
Centre climatique canadien,
Service de l'environnement atmosphérique,
Environnement Canada,
Downsview, Ontario,
avril 1984

CLIMATOLOGIE MARITIME

La majeure partie du travail accompli en matière de climatologie maritime au Canada est le fait du Service de l'environnement atmosphérique (SEA) du ministère fédéral de l'Environnement. Le SEA participe à la collecte, au contrôle de la qualité et à l'archivage des données, à la mise au point d'appareils, à la prestation d'information et de connaissances spécialisées sur le climat et à la recherche appliquée sur le climat. Les activités de l'industrie pétrolière dans le domaine de la climatologie ressemblent beaucoup à celles du gouvernement pour ce qui est de l'acquisition et de l'archivage des données et de l'élaboration de systèmes; toutefois, beaucoup d'études faites par l'industrie sont propres à un lieu donné et frappées d'un droit de propriété. Les données utilisées dans le cadre des études de climatologie maritime proviennent de nombreuses sources, y compris de navires de passage, de navires météorologiques, d'installations de forage, de bouées, de stations terrestres et de prévisions *a posteriori*. Elles varient considérablement en qualité, en quantité et en applicabilité. La qualité des données dépend des instruments employés ainsi que de la formation et de la motivation de l'observateur. La couverture spatiale des zones marines est médiocre. Les stations terrestres, les bouées et les navires météorologiques sont peu nombreux; les installations de forage ne desservent que des secteurs précis; et les navires de passage suivent surtout des voies de navigation bien définies. La couverture temporelle est fort bonne lorsqu'elle est le fait de stations terrestres et de navires météorologiques, mais sa qualité varie lorsqu'elle est le fait d'autres sources. À l'heure actuelle, les bases de données relevées par satellite ne conviennent à aucun type d'analyse climatologique parce que la couverture qu'elles offrent est à court terme et de nature sporadique.

Pour compenser ces carences, on produit des données de prévisions *a posteriori*, notamment pour le vent. Ces données sont le fruit d'une synthèse de relevés historiques, comme les cartes de la pression en surface et du temps en altitude, pour laquelle on utilise des modèles théoriques de l'atmosphère et de l'océan et que l'on contrôle par rapport à des mesures superficielles de qualité. Les prévisions *a posteriori* sont la source à laquelle on puise le plus souvent pour des applications comme les études de conception et les modèles de houle car aucun des autres jeux de données ne présente la couverture temporelle ou spatiale qui lui permettrait d'être largement applicable. Les données de prévisions *a posteriori* sont portées sur un quadrillage et représentent des périodes de vingt ans ou plus. Il s'agit là du délai idéal pour de nombreuses applications climatologiques, y compris les analyses de la persistance et des valeurs extrêmes, et

pour l'étude de la variabilité dans l'espace et dans le temps. Cela dit, les limites de la taille du quadrillage peuvent faire en sorte que d'importants éléments de petite taille passent inaperçus.

■ **LE VENT** Il est très important de connaître la vitesse, la direction, le profil en fonction de l'altitude et le caractère (par exemple l'intensité de rafale) du vent pour évaluer la menace que représente cet élément. Le vent impose une tension considérable aux installations de forge ainsi qu'aux navires et aux aéronefs de service. Comme cette tension est proportionnelle au carré de la vitesse du vent, les vents extrêmes ont une importance cruciale. Il est peu probable que la vitesse du vent influe à elle seule sur la capacité de survie des installations de forage ou des navires de soutien, mais elle peut constituer un facteur critique pour le fonctionnement des hélicoptères et pour les opérations de sauvetage. Les grands vents peuvent aussi créer de dangereuses conditions de travail sur les ponts exposés. Outre ses effets indépendants, le vent est aussi le principal facteur à agir dans la formation des vagues, lesquelles sont habituellement les causes des charges dominantes que doivent supporter les structures offshore, et il est l'un des principaux facteurs de refroidissement, de formation d'embruns verglaçants et de turbulence mécanique.

Bien que le vent soit le plus étudié des paramètres climatologiques dont il est question ici, une bonne part des travaux auquel il donne lieu porte sur le problème de la formation des vagues, pas sur les tensions que le vent lui-même impose aux structures. Il se fait très peu de recherche visant à décrire le profil vertical du vent dans l'atmosphère maritime, notamment à hauteur d'anémomètre, hauteur qui peut se situer, dans le cas des installations de forage, à 100 mètres au-dessus de la surface de la mer. Mentionnons aussi, comme autres domaines peu étudiés à ce jour, la détermination des facteurs de rafales au-dessus de l'océan, l'incidence potentielle du champ de vagues sur les vents, le rapport entre les vents mesurés depuis des installations de forage et le champ de vent vrai au-dessus de l'eau, la période de base optimale pour les mesures du vent en mer et les raffinements dans le domaine du calcul des vents extrêmes ou nominaux. Globalement, l'actuelle base de données sur les vents n'est pas suffisante pour définir convenablement la variabilité spatiale et temporelle du champ de vent, déterminer l'incidence des structures sur le champ de vent ou les valeurs extrêmes à prévoir.

S'agissant de délimiter avec précision un champ de vent maritime, il existe des domaines de désaccord concernant l'analyse des données sur les vents, désaccords qu'il faudrait supprimer. On ne s'entend pas, par exemple, sur la période devant servir de base de calcul aux fins des applications maritimes. Depuis des années, c'est une moyenne d'une minute qui est la norme. L'Organisation météorologique mondiale préconise l'adoption d'une moyenne de dix minutes alors que les concepteurs préfèrent peut-être un nombre constituant la moyenne d'une minute la plus élevée sur une heure. La hauteur de référence généralement acceptée pour mesurer les vents au-dessus de l'océan est de 19,5 m, bien que les relevés effectivement faits à cette hauteur soient relativement peu nombreux. Le rajustement empirique d'autres mesures à cette hauteur normative peut donner lieu à des incohérences dans les résultats.

Il conviendrait de lancer un programme visant à mesurer, sur plusieurs installations de forage et dans leurs environs, la variabilité du vent dans l'espace et dans le temps et l'incidence de l'installation sur le flux d'air. Cette étude devrait aussi comprendre des mesures expérimentales de la turbulence. Il faudrait examiner l'utilité du radar à haute fréquence et des sondes acoustiques de fond pour la mesure du vent dans les eaux canadiennes. De plus, il faudrait entreprendre des études aux fins d'établir les rapports entre les vitesses des vents relevées en fonction de plusieurs périodes de référence allant de une seconde à six heures. Il faudrait comparer des mesures du vent prises à différentes hauteurs de référence en

fonction de toute une gamme de conditions de stabilité et de vitesses de vents afin de définir des profils de vents pour plusieurs régions, de façon à pouvoir établir des hauteurs de référence et des périodes de base de calcul normatives. Des travaux sont nécessaires pour réviser les techniques d'analyse des valeurs extrêmes et les bases de données sur les vents de la côte est, afin de définir des vitesses de vent nominales acceptables et de déterminer les effets du champ de vagues sur le champ de vent.

■ **LE GIVRAGE** L'accumulation de glace est une source de dangers pour les installations de forage, pour les navires de service et surtout pour les hélicoptères. Il existe peu de mesures du givrage en milieu océanique, notamment pour ce qui est de sa répartition dans le plan vertical; aussi est-il difficile de vérifier les méthodes actuellement employées pour produire des statistiques de givrage ou de mettre au point de nouvelles techniques. En ce qui concerne le givrage d'origine atmosphérique, la plupart des techniques en usage ont été mises au point à terre, de sorte qu'on ne sait pas dans quelle mesure on peut les appliquer au milieu maritime.

Les embruns verglaçants, la plus dangereuse source de givrage, expliquent 89 pour cent des cas de givrage des navires. Une autre tranche de 8 pour cent s'explique par l'action combinée des embruns et des précipitations verglaçantes. En raison du manque de données d'observation sur les embruns verglaçants, la plupart des études de climatologie et de conception reposent sur des prévisions *a posteriori* du «potentiel d'embruns verglaçants», faites à l'aide de l'une des nombreuses techniques empiriques qui existent. Ces modèles établissent un rapport entre des paramètres atmosphériques et océanographiques et le degré de givrage. Certains modèles n'utilisent que la vitesse du vent et la température de l'air. D'autres tiennent aussi compte de la température de la mer en surface, de la hauteur des vagues et de la salinité. Le degré de givrage est habituellement exprimé en catégories: givrage faible, modéré ou fort, car le degré réel de givrage dépend de la direction, de la vitesse et des caractéristiques structurales du navire.

Comme le givrage pose de graves problèmes de sécurité en mer, il conviendrait d'accorder à ce phénomène une importance prioritaire aux fins de l'élaboration de nouveaux programmes. Il faudrait étudier chacun des trois types de givrage (embruns, précipitations, givre blanc) afin d'en déterminer la répartition dans le plan vertical, et en comparer les manifestations et les degrés en fonction des conditions météorologiques et océanographiques qui règnent au moment où ils se produisent. Il serait alors possible d'évaluer les techniques existantes de prévision ou de prévision *a posteriori* du givrage et de mettre au point de nouvelles techniques si besoin est. Il faudrait aussi établir des estimations des quantités totales de glace qui s'accumule suivant que l'on considère, indépendamment ou en combinaison, chaque type de givrage, afin qu'il soit possible d'étudier les effets de charges maximales réalistes.

■ **LA TEMPÉRATURE DE LA MER EN SURFACE** La température de la mer en surface présente de considérables variations dans l'espace, surtout dans les parages du secteur où le Gulf Stream et le courant du Labrador se rencontrent. Les observations provenant de sources classiques ne permettent pas de décrire la nature complexe des schémas en jeu. L'exactitude des mesures de la température de la mer faites depuis des navires ou des installations de forage est considérablement limitée du fait des différences de méthodes et de profondeurs d'eau et de la présence ou de l'absence de sources de chaleur dans le voisinage.

Les dispositifs satellisés actuels sont capables de produire des estimations fiables de la température de la mer en surface à plus ou moins 0,5°C. Cela dit, les éléments sensibles employés sont des radiomètres infrarouges passifs incapables de pénétrer les nuages. La prochaine génération de capteurs sera constituée par le radiomètre à micro-ondes, dont le fonctionnement ne sera pas perturbé par les nuages mais qui y perdra de ce fait beaucoup sur le plan de la limite de résolution

spatiale. Pour l'analyse, la solution optimale consistera peut-être à utiliser en combinaison des données collectées au moyen des deux types de capteurs. L'analyse climatologique de la température de la mer n'est pas possible actuellement, car les archives de données radiométriques sont trop limitées et il n'existe pas d'archives de données collectées par micro-ondes.

■ **LA TEMPÉRATURE DE L'AIR** Les méthodes de mesure de la température de l'air à bord des navires et des installations de forage sont, encore une fois, limitées du fait de problèmes qui découlent de la hauteur des instruments et de la présence de sources de chaleur. La température de l'air ne présente habituellement pas d'importantes variations au niveau d'un secteur donné de l'atmosphère maritime. Par conséquent, il suffit de quelques observations seulement, pourvu qu'elles soient bien réparties, pour rendre compte de la situation dans un vaste secteur de l'océan. Font exception à cette règle les secteurs proches des côtes et du Gulf Stream.

■ **LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE** La pression atmosphérique ne constitue pas en soi une menace à la sécurité, mais il s'agit d'un paramètre très important. En temps réel, elle est indispensable à l'établissement des cartes du temps à partir desquelles sont produites les prévisions météorologiques. Il faut aussi la connaître pour régler l'altimètre des aéronefs. On utilise, pour les études de prévisions *a posteriori* du vent/des vagues, la même carte de la pression en surface qui a servi à faire les prévisions et qui a été analysée. La prévision *a posteriori* rend compte correctement du vent au-dessus de l'eau dans la mesure où les relevés de la pression barométrique sont exacts et où leur couverture temporelle et spatiale est appropriée.

La pression constitue un élément fondamental des rapports de la plupart des navires et de toutes les installations de forage, stations terrestres et stations automatiques. Les stations terrestres mesurent habituellement la pression au moyen du baromètre à mercure. Ailleurs, on tend à utiliser des baromètres anéroïdes.

La pression est un paramètre qui se mesure assez facilement et sans grande dépense grâce à des bouées dérivantes émettant vers un satellite. En règle générale, les mesures sont exactes; il faut toutefois plus d'observations pour les secteurs où les données sont rares. Les bouées dérivantes apporteraient des informations supplémentaires grâce auxquelles la sécurité des installations serait accrue, par le biais de la conception, d'une part, qui pourrait tenir compte de la réalité climatologique, et en leur qualité d'aides à la prévision favorisant une résolution accrue des tempêtes et de dispositifs de pré-alerte dans un secteur où des tempêtes importantes peuvent se former et se déplacer rapidement.

Pour améliorer la situation, il conviendrait de déployer le long de la côte est des bouées dérivantes qui mesureraient quelques paramètres, comme la pression atmosphérique et la température de l'air et de la mer. Il faudrait déployer des bouées amarrées semblables à celles qu'utilisent les États-Unis ou des modèles canadiens analogues sur le plateau continental Scotian et sur les Grands bancs.

■ **LA TURBULENCE** On ne mesure habituellement pas la turbulence; on en fait plutôt une estimation grossière à partir de la vitesse du vent et de mesures de la différence entre la température de l'air et la température de la mer, et ce, au moyen de techniques empiriques. Il existe des instruments qui peuvent mesurer les mouvements réels du vent dans trois dimensions pour une résolution à brève échéance. Il est irréaliste d'envisager de doter un navire de ce genre d'instrument; ce serait aussi inutile, car la plupart des navires n'ont pas de fonctions de soutien d'opérations aériennes. Ces instruments fourniraient toutefois des informations utiles tant pour la conception que pour les applications en temps réel s'ils étaient placés près de l'hélicoptère d'une plate-forme de forage. On ne peut appliquer, par extrapolation, les mesures de la turbulence faites à une plate-forme à d'autres plates-formes, car la perturbation du champ de vent varie considérablement en fon-

tion de la structure de l'installation.

■ **LES TEMPÊTES** S'agissant de la sécurité des opérations offshore, les tempêtes sont naturellement un élément majeur à prendre en ligne de compte. Beaucoup d'études ont été faites sur la fréquence et sur la trajectoire des systèmes de basse pression en déplacement, y compris sur les tempêtes tropicales et sur les ouragans. La plupart d'entre elles reposaient sur des ensembles de cartes du temps historiques, soit sous leur forme originale, soit sous forme numérique. Ces cartes accusaient souvent un manque de données, notamment dans les secteurs présentant une couverture de glace importante. Cet état de choses peut donner lieu à une mauvaise estimation de la localisation, de l'intensité et du mouvement des tempêtes et peut même faire que des tempêtes soient omises. Cela peut notamment se produire dans le cas des fortes tempêtes à petite échelle qui se produisent parfois au large de la côte est du Canada.

Depuis quelques années, les satellites sont d'une aide considérable pour le repérage et la localisation des tempêtes. Les futurs systèmes satellisés, doués de la capacité de déterminer le champ de vent, seront d'une aide encore plus grande à cet égard. Les bouées contribuent aussi au repérage des tempêtes. Le déploiement de bouées amarrées à capteurs multiples et de bouées dérivantes sensibles à la pression dans les régions où les données sont rares serait aussi des plus utiles, tout comme le serait l'aménagement de stations automatiques dans des régions terrestres éloignées, comme le nord de la côte du Labrador. Les informations supplémentaires qui pourraient ainsi être recueillies amélioreraient la climatologie des tempêtes, certes, mais elles seraient aussi utiles en temps réel, pour l'annonce de tempêtes et comme apport aux prévisions météorologiques opérationnelles.

■ **LES NUAGES** Deux aspects des nuages sont particulièrement importants en climatologie maritime: la nébulosité totale et la hauteur du plafond (c'est-à-dire l'altitude à laquelle la couverture nuageuse totale est d'au moins cinq huitièmes). Les stations automatiques et les satellites sont doués de la capacité de déterminer la nébulosité et la hauteur, bien que les appareils satellisés capables de déterminer la base des nuages en soient encore au stade de la mise au point. Certaines stations automatiques sont dotées de célomètres, appareils légers qui mesurent l'altitude de la base des nuages. Pour améliorer le processus de collecte de données sur les plafonds nuageux, sur les endroits les plus susceptibles d'être envahis par le brouillard et sur les conditions générales de visibilité, il faudrait monter des stations automatiques sur les navires et sur les installations de forage chaque fois que c'est possible.

■ **LA PLUVIOSITÉ** Les observations de la pluviosité en mer consistent la plupart du temps en des estimations visuelles de la pluie, que l'on qualifiera de légère, modérée ou forte. L'actuelle base de données sur l'intensité de la pluie convient bien aux besoins des régions du sud, car il y a de nombreuses stations terrestres dotées de pluviographes. L'appareil de l'île de Sable, notamment, donne une bonne estimation de la pluviosité nominale sur le plateau continental Scotian. En outre, il existe plusieurs emplacements à la périphérie du golfe Saint-Laurent qui peuvent servir de lieux de collecte de valeurs nominales. Toutefois, pour desservir les eaux de Terre-Neuve et les régions situées plus au nord, les pluviographes sont peu nombreux et les résultats ne sont guère applicables par extrapolation aux zones offshore, du fait qu'une bonne part des précipitations est causée par la géographie superficielle du terrain ou modifiée par elle.

Quelques installations de forage ont récemment entrepris de mesurer la pluviosité de six heures; les observations ainsi effectuées n'ont toutefois pas été incluses dans les archives numériques. Les données produites, bien qu'elles soient les meilleures actuellement disponibles, n'en restent pas moins de qualité douteuse du fait de la rareté des endroits dégagés où placer le pluviographe. Il existe fort peu d'information sur l'intensité des pluies fortes et de courte durée susceptibles

d'influer sur le drainage et sur les transmissions radio.

■ **CONCLUSIONS** Le principal facteur à gêner notre compréhension de l'environnement maritime est le manque généralisé de données de base sur tous les paramètres. En conséquence, beaucoup d'analyses importantes ne peuvent pas être faites; quant à celles qui sont faites, elles sont dans certains cas de qualité douteuse. Pour corriger la situation, il faudrait améliorer le processus d'acquisition des données en mettant au point de nouveaux programmes ou en élargissant ceux qui existent.

Le recours aux dispositifs sur satellite capables de mesurer les paramètres atmosphériques et océanographiques doit être soutenu. En ce domaine, les diffusiomètres, qui mesurent le vent, et les capteurs à micro-ondes, qui prennent la température de la mer en surface, sont d'une importance particulière. Les données retransmises par satellite devraient être archivées sous forme numérique. Il convient d'évaluer les ensembles de données de prévisions *a posteriori* en regard des données de surface mesurées de bonne qualité. Si l'on ne peut identifier d'ensembles appropriés, il faudrait produire un nouvel ensemble proprement canadien. Des réseaux de bouées dérivantes fourniraient les données sur la pression indispensables à l'analyse des cartes de la température en surface sur lesquelles reposent les prévisions *a posteriori*, afin de déterminer avec précision la position et l'intensité des tempêtes cycloniques. Ces cartes améliorées favoriseraient aussi les prévisions du temps et des vagues. Il faudrait, chaque fois que c'est possible, doter les navires et les installations de forage de stations automatiques de bord; de plus, il faudrait installer des stations automatiques retransmettant par satellite en divers emplacements côtiers éloignés.

Très peu d'études ont été faites sur les effets de facteurs agissant en combinaison. Ce ne sont pas forcément les valeurs maximales de ces facteurs qui causent les charges maximales. Les conditions de résonance ou les différences de stabilité peuvent donner lieu à une autre combinaison de facteurs encore plus critique. Une combinaison de faible visibilité et de vagues ou de vents forts, par exemple, peut causer des problèmes qu'aucun des facteurs ne pourrait causer seul. Il faudrait étudier diverses combinaisons de ce genre pour les plages d'opération critiques et en calculer les fréquences.

De même, fort peu d'études ont été faites sur les ramifications des conditions météorologiques aux stations terrestres de soutien. Ces conditions peuvent influencer sur les opérations et, chose plus importante encore, sur la capacité d'intervention d'urgence. Il faudrait établir une corrélation entre les conditions difficiles pouvant forcer l'évacuation d'une installation de forage et des conditions comme le temps propice au vol (plafond, visibilité, givrage) aux stations de recherches et de sauvetage les plus proches. Il est toujours important de prendre en considération le temps propice au vol aux stations terrestres de soutien, car la nécessité d'évacuer ne surgit pas forcément qu'en cas de mauvais temps dans le secteur de l'installation. Des études de la persistance de ces facteurs devraient être incorporées aux plans d'aménagement de toute station de soutien.

Les relevés climatologiques, les plans d'intervention d'urgence et les énoncés d'incidences publiés ne présentent habituellement rien d'autre que de l'information sur la fréquence de quelques paramètres de base. Afin d'évaluer convenablement et de décrire les risques qui menacent la sécurité des personnes, il faudrait faire d'autres analyses sur les sujets suivants:

- persistance, valeurs extrêmes et facteurs de rafale des vents;
- analyse de la persistance des plafonds bas et de la visibilité faible;
- fréquence et persistance des conditions de givrage pour chacun des trois types de givrage;
- fréquence des orages et des pluies fortes;

- températures minimale et maximale de l'air, persistance des maximums et des minimums, fréquence et extrêmes du refroidissement dû au vent;
- sommaires statistiques de la répartition, de la fréquence, de la persistance et de l'intensité des tempêtes cycloniques;
- fréquences conjointes des combinaisons dangereuses, comme les vents forts et la faible visibilité survenant en même temps;
- fréquence et persistance des conditions météorologiques défavorables, notamment les conditions de vol, pour toutes les stations terrestres de soutien, indépendamment des conditions défavorables sur les lieux de forage et en combinaison avec elles.

Services de prévisions météorologiques pour la région offshore du Canada, partie 1: organisation des organismes responsables et pratiques actuelles; et partie 2: étude de la valeur des services de prévisions.

Seaconsult Limited,
Saint-Jean, Terre-Neuve,
août 1984

SERVICES DE PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES

■ **ORGANISATION** Au Canada, c'est au Service de l'environnement atmosphérique (SEA) qu'il incombe d'assurer les services de prévisions météorologiques. Son champ d'activité comprend les prévisions marines et aéronautiques ainsi que les prévisions destinées au grand public. Aux termes de la réglementation régissant le forage offshore, les exploitants ont été tenus de s'assurer par contrat des services de prévisions météorologiques pour des lieux et des itinéraires précis. Dans le secteur offshore de l'est du Canada, ces services ont été fournis par des entreprises du secteur privé qui s'occupent précisément de ce genre de besoins. Elles étaient tenues, aux termes des règlements applicables, de compter parmi les membres de leur personnel des personnes répondant aux critères de compétence du SEA. Tous les organismes concernés sont par conséquent étroitement reliés et les prévisions qu'ils livrent sont fort semblables. Ils basent leurs pronostics sur la même masse d'informations provenant de l'organisation du SEA et ils abordent le processus de prévisions météorologiques en appliquant les mêmes principes et en employant le même équipement.

Malgré les ressemblances fondamentales entre les prévisions, leur présentation diffèrent de façon notable selon qu'elles proviennent de sources privées ou du SEA. Les services privés ont tendance à adopter un mode de présentation plutôt scientifique des paramètres relatifs aux vents et à l'état de la mer en fonction de périodes de référence évoluant par tranches de six heures. Il est alors tentant d'attribuer à leurs prévisions l'exactitude de l'observation et de les considérer comme plus exactes qu'elles ne le sont en réalité. Comme on a pu le constater à la faveur de contrôles des prévisions des éléments quantitatifs relatifs à des tempêtes (vent, état de la mer, visibilité, etc.), l'exactitude des prévisions diminue graduellement alors que la période de validité tend vers 24 heures et elle chute radicalement au-delà de 48 heures. Il s'ensuit que les paramètres à longue échéance présentent un caractère d'incertitude considérable, surtout pour les périodes de validité supérieures à deux jours; il faut en tenir compte lorsqu'on utilise ces prévisions pour prendre des décisions ayant une incidence sur les opérations offshore.

Les paramètres ou éléments météorologiques et océaniques qui forment actuellement la base des données de prévisions sont la vitesse et la direction du vent, la hauteur et la période des vagues, la température, la pression, la visibilité et les embruns verglaçants. Ces paramètres sont présentés de façon descriptive ou numérique, ou les deux, et couvrent une région ou un point de l'océan, avec des reports réguliers de la période de validité, qui s'établit habituellement à six ou douze heures.

■ **LE CONTENU** La valeur informative des prévisions est très faible si l'on considère la quantité de données de pronostic qu'il a fallu utiliser pour les produire. Il serait possible d'augmenter la valeur informative du contenu en s'intéressant par exemple aux spectres de houle. Les paramètres relatifs à l'état de la mer sont habituellement indiqués sous la forme d'un composant vent-mer et de deux composants de houle. Les valeurs sont additionnées pour donner un facteur combinant hauteur, période et direction de la houle. Il n'existe pas de processus paramétrique de prévision *a posteriori* qui permette véritablement d'établir le modèle physique des mers houleuses du passé, et, à ce jour, les modèles discrets à grande échelle des spectres de houle – qui permettraient de déterminer approximativement la propagation des composants de houle – ne sont pas utilisés au Canada pour la prévision des vagues. Par conséquent, les deux composants de houle prévus sont dans une large mesure dépourvus de signification et le mieux qu'on puisse faire est d'interpréter la hauteur de mer combinée comme étant à peu près équivalente à une hauteur de vague significative dont la valeur moyenne a été établie sur la période de validité de la prévision. Ainsi, les prévisions de l'état de la mer publiées par des firmes privées comportent habituellement l'équivalent d'une hauteur et d'une période de houle et un indicateur sommaire de la direction pour représenter un lieu donné en mer. La hauteur de houle maximale n'est qu'une extrapolation statistique de la première valeur et elle n'augmente pas la valeur informative de la prévision. Ce pronostic est mis à jour toutes les six heures. En cas de tempête, ce sont les données minimales qu'il faut posséder pour évaluer le mouvement prévu d'une installation de forage flottante. On en arriverait à une analyse de mouvement plus fiable si l'on partait de spectres de houles prévus calculés à partir de modèles bi-dimensionnels avec un saut de temps d'une heure. Ces spectres résoudre les houles croisées et les changements rapides dans la croissance des houles quand les tempêtes atteignent une intensité maximale en des lieux précis. Ainsi, la présentation de spectres convenablement calculés, à la différence des hauteurs et des périodes de houles, entraînerait une augmentation significative de la valeur informative des prévisions de l'état de la mer.

Le contenu des prévisions présente d'autres limites qui sont attribuables aux lacunes de la technologie de prévision disponible. Pour des raisons qui tiennent à la rareté des points d'observation en milieu océanique et à une compréhension incomplète de la physique atmosphérique, les prévisions traitent des changements du temps à l'échelle synoptique, sur des distances supérieures à 200 à 300 kilomètres et des périodes de deux à trois jours. Les phénomènes de moindre envergure, à moyenne échelle, qui produisent parfois les conditions les plus rigoureuses malgré leur brièveté, ne sont pas compris dans les paramètres de préparation. Accroître la valeur informative et de ce fait l'efficacité des prévisions, en incorporant, par exemple, des spectres de houles ou des processus atmosphériques à moyenne échelle, supposerait d'apporter des changements fondamentaux aux actuelles techniques d'acquisition et de présentation des données.

■ **LA PRÉSENTATION** Les prévisions sont présentées de façon très rudimentaire, tous les paramètres étant indiqués pour les mêmes périodes de validité et transmis par télécopieur ou par radio. Dans les cas où les utilisateurs reçoivent des cartes d'analyse et des photos spatiales par appareil fac-similé, les pronostics peuvent être complétés d'information actuelle sur la structure spatiale des systèmes météorologiques. On n'utilise pratiquement pas l'affichage graphique en couleur qui présente des pronostics bi-dimensionnels mêlés de données d'observation comme des photos spatiales et des images de radar météorologique. Si l'on considère les possibilités de transmission actuelles, un système informatisé de diffusion des prévisions permettrait, par exemple, d'illustrer le comportement dynamique des systèmes de tempête dans le passé puis de faire une projection dans l'avenir, afin d'isoler et de prévoir les phénomènes à petite échelle qu'ils recèlent, ainsi que

de présenter des prévisions régionales et locales rapidement et de façon interchangeable. Cette façon de procéder permettrait d'établir des pronostics à brève échéance qui véhiculeraient de l'information détaillée et qui alterneraient avec des présentations à plus longue échéance et moins détaillées.

■ **LE CONTRÔLE** · Le contrôle des prévisions maritimes fournies par des firmes privées est un processus bien établi qui procure beaucoup d'information quant à la qualité des prévisions. Les programmes actuels, toutefois, sont plutôt de nature statistique et font disparaître le lien entre l'évolution de la tempête et la nature des erreurs de prévision des phénomènes durs. Le contrôle courant des prévisions au moyen de techniques d'analyse de séries chronologiques pour illustrer le rapport entre les erreurs d'ampleur et de chronométrage serait aussi utile. Tout aussi utile serait une analyse des conséquences pour les opérations offshore de divers types de phénomènes mal prévus, comme par exemple l'intensité maximale d'une tempête annoncée pour plusieurs heures avant ou après le moment où celle-ci l'atteindra effectivement. Du fait que le processus de prévision repose sur la manipulation de systèmes météorologiques synoptiques observés ou prévus, l'analyse après-coup des phénomènes particulièrement difficiles ainsi que la mise au point d'un mécanisme officiel de transfert de l'expérience ainsi acquise à tout le personnel prévisionniste seraient utiles et doivent être examinées de plus près. Le but de cette démarche devrait être d'améliorer les modalités et d'intégrer l'information.

■ **ÉTUDE DE LA VALEUR DES SERVICES DE PRÉVISIONS** L'expérience pratique des activités dans les eaux de l'est du Canada a permis de dégager, il y a longtemps déjà, les conditions météorologiques défavorables qui constituent une menace pour la sécurité des personnes. Deux de ces conditions sont particulièrement importantes: les grosses tempêtes d'hiver qui mettraient en danger l'installation de forage et tout son équipage et le brouillard qui rend l'emploi de l'hélicoptère hasardeux. Ces deux situations exigent deux types fort différents d'information de prévision.

Les exploitants doivent disposer de prévisions à longue échéance des grosses tempêtes d'hiver afin de pouvoir prendre les mesures prévues pour assurer la sécurité du puits et celle de l'installation de forage ou pour déclencher l'abandon de cette dernière. Des prévisions à longue échéance sont fournies qui décrivent des éléments météorologiques comme les vents et l'état de la mer pour une période de validité et avec une résolution suffisantes. La communication de l'information se fait efficacement et en temps opportun grâce aux méthodes de breffage personnel qui sont employées, en cas d'alerte en particulier. Toutefois, les prévisions d'éléments qui concernent la période qui s'étend au-delà de 12 à 18 heures tendent à être incertaines. Il s'ensuit que, s'agissant d'indiquer si une tempête produira des vents locaux supérieurs à certains seuils, la prévision sera aussi caractérisée par l'incertitude. La pratique adoptée pour faire face à cette incertitude consiste à surveiller l'évolution de la tempête, en considérant une période de 48 à 72 heures, par exemple, et qui s'amenuisera jusqu'à s'établir à une tranche de 18 à 24 heures, pour en arriver à l'évaluation la plus sûre possible de la nécessité d'abandonner la plate-forme.

Cette surveillance peut fort bien se solder par la perte d'un délai sûr d'évacuation de tout le personnel. Il faut alors envisager de laisser le personnel à bord. Tous les exploitants n'abordent pas de la même manière ce problème de la durée de la surveillance, surtout que l'abandon est coûteux et comporte ses propres dangers et que les tempêtes suscitant des vents de plus de 85 noeuds sont extrêmement rares. Bien qu'on puisse s'attendre à des variations d'une tempête à l'autre, la situation décrite ci-dessus constitue selon toute probabilité le pire des cas: le cas d'une tempête d'hiver si forte qu'elle est en soi la cristallisation du danger. Mais même alors, pour les exploitants, la mesure consistant à immobiliser le puits et la plate-forme, à laisser le personnel à bord et à attendre que la tempête

passé, constitue une façon acceptable d'assurer la sécurité des personnes. Elle est en outre compatible avec le principe, inscrit dans les règlements, de la sécurité assurée en fonction d'un risque perçu de niveau acceptable. Étant donné que les services de prévisions météorologiques fournissent l'information nécessaire à l'exécution des plans d'intervention et que ceux-ci sont réputés être le moyen d'assurer la sécurité en cas de tempête, alors les services de prévisions, tels qu'ils existent actuellement, sont appropriés.

■ **LE VOL DES HÉLICOPTÈRES** La planification du vol des hélicoptères requiert une connaissance précise de la vitesse et de la direction du vent et des pronostics de la visibilité au lieu de destination afin d'optimiser la consommation de combustible et la répartition des charges tout en ménageant un facteur de sécurité acceptable pour un voyage aller-retour sans ravitaillement en combustible en cours de route. Les prévisions à cet égard sont fournies aux pilotes par le SEA au cours de briefings personnels dans les bureaux de présentation. La communication entre les pilotes et le personnel chargé de la présentation au SEA est excellente. Tous les gens concernés connaissent par expérience les besoins en matière de météorologie et les particularités des données de prévision maritimes et ils se ménagent une marge d'erreur dans leurs décisions.

L'heure de diffusion des prévisions météorologiques à l'intention des pilotes pose un problème. Le passage à l'heure avancée à Terre-Neuve et le fait que l'horaire des départs de Saint-Jean est établi avant 7 h (heure avancée de Terre-Neuve) peuvent obliger à employer les prévisions maritimes publiées à 0 h 30 GMT ou 22 h (heure avancée de Terre-Neuve), au lieu des prévisions plus récentes de 6 h 30 GMT. Il se peut par conséquent que la description synoptique et les pronostics de vent et de visibilité soient inexacts. Il serait facile de corriger la situation en retardant les départs de Saint-Jean jusque vers 9 h (heure avancée de Terre-Neuve) ou en améliorant le transfert des données aux pilotes à ce moment de la journée. Tout bien pesé, cependant, les services de prévision actuels sont considérés comme convenables pour les besoins des vols d'hélicoptère durant la saison du brouillard.

■ **LA VALEUR DES SERVICES DE PRÉVISIONS** Notre étude des services de prévisions météorologiques destinés aux groupes qui poursuivent des programmes de forage d'exploration indique que les besoins de l'industrie à cet égard et dans l'optique d'assurer la sécurité des personnes sont satisfaits. Le processus d'intervention d'urgence en cas de tempête majeure, éventuellement accompagnée de problèmes liés au puits, à l'installation ou à la glace, est techniquement et logistiquement complexe. Les services mis en place par l'industrie assurent la disponibilité des données météorologiques qu'il faut posséder pour décider de l'immobilisation ou de l'abandon de l'installation. D'ailleurs, des modalités d'intervention clairement définies tiennent compte des limites des données de prévision et visent à s'en accommoder de la façon la plus rationnelle.

La plus importante limite des données météorologiques concerne la fiabilité d'éléments particuliers comme la vitesse du vent ou la hauteur des vagues. Tant au Canada qu'aux États-Unis, les services météorologiques nationaux apportent sans cesse des améliorations qui accroissent l'exactitude de leurs prévisions et qui profiteront à l'industrie lorsqu'elles seront devenues opérationnelles. La prévision du temps est une science très complexe qui exige beaucoup d'expérience et de jugement; les organismes qui assurent actuellement ce genre de service emploient les techniques les plus avancées et il n'y a pas de disparité majeure entre les services nationaux du Canada ou des États-Unis et les entreprises privées de prévision qui assurent des services d'importance locale à l'intention des exploitants. Il semble que les sociétés pétrolières reçoivent la meilleure information possible.

■ **LES POINTS À AMÉLIORER** Dans un certain nombre de domaines, des améliorations pourraient être apportées au système qui entraîneraient, peut-on penser,

divers avantages, dont une plus grande exactitude des prévisions et une plus grande confiance lorsqu'il s'agira de faire face à des conditions météorologiques défavorables.

En milieu maritime, la validité des prévisions de tempête tient à l'acquisition en temps opportun de données exactes. Le déploiement de bouées attachées qui retransmettraient par satellite des données sur la pression, la température et éventuellement les vents améliorerait les prévisions des éléments. Disposer ces appareils dans les eaux canadiennes permettrait d'obtenir des prévisions à court terme (jusqu'à 24 heures) plus fiables pour les zones de forage; on en a eu la preuve à la faveur d'un programme expérimental organisé par le SEA au cours de l'hiver 1983-1984 au large de la côte est. On pourrait aussi espérer une plus grande exactitude des prévisions de tempêtes à longue échéance (de 24 à 48 heures) si l'on déployait des bouées le long de la côte est des États-Unis; ces appareils donneraient plus tôt un meilleur aperçu du comportement des systèmes météorologiques avant qu'ils n'atteignent les eaux canadiennes. Des améliorations apportées parallèlement à la surveillance des vents en altitude susciteraient aussi une plus grande exactitude de la prévision de la trajectoire des tempêtes et par conséquent des vents locaux. Ces données «d'amont» seraient fort précieuses pour l'établissement des modèles numériques de prévision météorologique, qui sont si importants pour les pronostics à longue échéance.

Les programmes de surveillance de cette nature sont coûteux et, sur le plan de la logistique, complexes, tant pour entretenir les instruments que pour faire en sorte que les données soient correctement introduites dans le réseau de diffusion. La meilleure façon d'agir consiste probablement à faire appel à un programme mixte entre le gouvernement et l'industrie qui reconnaîtrait les avantages dont bénéficieraient tous les utilisateurs de prévisions maritimes.

Les méthodes de présentation des prévisions doivent être améliorées. Les plans d'intervention d'urgence en cas de détérioration des conditions météorologiques exigent la participation active du responsable de l'installation de forage et du directeur des forages. Le personnel en mer doit agir en fonction de son propre jugement et de l'interprétation du temps communiquée en audio par les gens à terre. Les prévisions peuvent parvenir à l'installation, en clair, sous toutes sortes de formes. Le personnel en mer doit alors ou bien opérer un tri dans toute la masse de données et interpréter ces dernières de manière à mieux saisir les phénomènes à venir, ou bien s'en tenir strictement aux prévisions d'éléments transmises par la firme sous contrat, lesquelles prévisions brossent un tableau beaucoup plus restreint. Placé devant ce choix, l'équipage a souvent pour réaction d'attendre de l'observateur météorologiste qu'il fasse office de prévisionniste, fonction dont il ne possède habituellement pas les qualifications.

Ces problèmes pourraient se régler si l'on améliorait la technologie de présentation et si l'on mettait le personnel de l'installation de forage en contact audiovisuel avec le bureau de prévisions à terre. Dans un premier temps, on pourrait utiliser la technologie de la télévision tout simplement pour relayer des données et des communications. À un niveau supérieur, la technologie du traitement numérique de l'image et des logiciels de manipulation permettrait d'illustrer la formation des tempêtes et l'évolution prévue ainsi que les prévisions d'éléments, le tout doté d'une capacité de dialoguer. Le but de cette démarche consisterait à donner à l'information destinée à l'installation les formes les plus significatives et à assurer une circulation constante de l'information entre le prévisionniste, le bureau de coordination d'urgence à terre et l'installation de forage. Elle supprimerait aussi la nécessité d'imposer au personnel d'observation des demandes indues.

Des entrevues avec des membres d'équipages maritimes et des coordonnateurs environnementaux ont permis de relever un désir d'une formation plus poussée. Celle-ci pourrait prendre la forme de brefs cours spécialisés portant sur les

éléments météorologiques, sur l'état de la mer, sur les glaces et les courants que l'on peut observer dans les eaux de l'est du Canada, sur les méthodes de préparation et de diffusion des prévisions, sur l'équipement de surveillance et sur les modalités d'intervention. Les personnes interrogées ont indiqué qu'elles avaient reçu une certaine formation en météorologie et sur les vagues, mais que celle-ci était trop générale, puisqu'elle présentait un aperçu global sans s'attacher aux caractéristiques particulières d'une région donnée. Les responsables au sein des sociétés pétrolières ont estimé qu'il serait avantageux de prévoir des exposés spécialisés sur tous les facteurs environnementaux qui influent sur les opérations.

En ce moment, au Centre météorologique canadien, on procède à une vérification de toutes les prévisions à l'aide de cotes SI, qui ne donnent qu'une moyenne très sommaire du rendement. Il conviendrait de vérifier les prévisions des éléments au-dessus de la mer au moyen d'une méthode d'analyse de séries chronologiques, en adoptant une procédure commune avec les firmes privées en vue de déterminer le degré d'exactitude des prévisions de 24 et de 72 heures et d'identifier les systèmes météorologiques difficiles à prévoir avec certitude. Ce processus aurait notamment pour résultat de favoriser une meilleure compréhension des pronostics à longue échéance transmis par le SEA aux utilisateurs.

Il n'existe pas de processus cohérent de contre-vérification des prévisions entre les firmes privées et les divers paliers du SEA. Les sociétés privées de prévision pourraient élargir leurs modalités actuelles de manière à considérer un plus grand nombre de tempêtes cas par cas suivant une série chronologique. On pourrait ainsi savoir si les erreurs qui marquent les paramètres prévus sont attribuables à de mauvaises estimations de l'intensité, de la position, de la vitesse de progression d'un système météorologique donné, ou encore des trois paramètres. Les méthodes statistiques actuellement employées ne facilitent pas ce genre d'examen des pronostics.

À l'heure actuelle, dans beaucoup de pays, les prévisions de l'état de la mer font appel à des modèles spectraux couplés à des systèmes de prévision numériques du temps. Ce n'est pas le cas au Canada, où l'on emploie plutôt des modèles paramétriques de la hauteur de vague significative. Les services de prévision du Canada donnent maintenant des hauteurs de vague associées à la mer houleuse et à la mer de vent, leur direction et une hauteur de vague maximale combinée. Il n'est pas encore clairement établi si, pour une information de ce niveau, les modèles spectraux les plus poussés donnent des résultats plus exacts. Les exploitants, et notamment les équipages à bord des installations de forage et des navires de service, ont exprimé la crainte de recevoir de l'information complexe sur les vagues, qu'ils auraient de la difficulté à comprendre. En fait, ils étaient d'avis que les paramètres actuellement utilisés convenaient passablement à leurs besoins, qu'ils étaient familiers et «raisonnablement exacts».

La modélisation spectrale de l'état de la mer, systématiquement liée à des champs de vent prévus selon une méthode numérique, est toutefois avantageuse pour l'exploration offshore, sinon en élargissant dès maintenant les paramètres de prévision, du moins grâce à ses autres avantages. Parmi ces derniers, mentionnons le traitement plus correct et plus exact du point de vue de la physique de la houle; un processus plus exact du point de vue de la physique de propagation des vagues de tempête de concert avec le système météorologique d'origine (prévision des houles croisées); et une base de données climatologiques s'établissant à partir des champs d'analyse, qui élargirait les connaissances sur l'état des vagues dans des secteurs actuellement mal connus. Pour toutes ces raisons et aussi pour le bénéfice des utilisateurs autres que les sociétés pétrolières et gazières, il y a lieu d'envisager sérieusement la mise au point de modèles avancés de formation des vagues pour les eaux de l'est du Canada.

*Évaluation des connaissances actuelles
dans le domaine de la climatologie des
vagues au large de la côte est*
J.R. Wilson, Services des données sur le
milieu marin
W.F. Baird, W.F. Baird and Associates
Ottawa, Ontario,
juin 1984

CLIMATOLOGIE DES VAGUES

On ne comprend pas encore très bien la dynamique de formation d'un champ d'ondes sous l'action du vent, ni celle de sa propagation dans les océans; il s'agit d'un phénomène très complexe qu'on ne peut actuellement décrire qu'à l'aide de données numériques reposant, dans bien des cas, sur des hypothèses simplistes.

Les vagues sont formées par l'action complexe du vent soufflant fortement sur la surface de la mer. Elles s'amplifient en fonction de la vitesse ou célérité du vent, de sa durée et de sa course (distance sur laquelle le vent souffle). La propagation des ondes n'entraîne à peu près aucun déplacement de la masse d'eau sauf lorsqu'une vague se brise. Ainsi, un petit objet flottant décrit un mouvement circulaire à mesure que l'onde s'éloigne; le diamètre du cercle est égal à la hauteur de l'onde et le temps nécessaire pour décrire le cercle correspond à la période de l'onde. Une onde simple a une durée limitée, elle croît lentement en hauteur, puis décroît à mesure qu'elle s'éloigne.

Les vagues formées localement sous l'action du vent ne se déplacent pas toutes dans la même direction; leur déplacement s'inscrit toutefois dans un rayon de 45° de part et d'autre de la moyenne. À mesure que les vagues s'éloignent de la zone d'influence du vent qui les a générées, leur période augmente et leur crête s'allonge. Ces vagues constituent ce que l'on appelle la houle. La pente ou la cambrure de la partie avant de la vague peut être plus abrupte que celle de sa partie arrière. Si cette pente est très abrupte, il se forme un brisant, c'est-à-dire une masse d'eau qui déferle en écume à une vitesse plus grande que celle de la vague elle-même, et la précède. Dans des conditions de mer très difficiles, les vagues peuvent atteindre une hauteur d'au moins 40 mètres, une période de 18 secondes et une longueur d'onde de 500 mètres. Les houles peuvent avoir une période et une longueur d'onde plus longue, mais leur hauteur est cependant plus faible.

La climatologie des vagues est un domaine qui intéresse un grand nombre d'organismes qui s'intéressent à l'exploration pétrolière et gazière offshore, par exemple, les exploitants, les entrepreneurs de forage, les concepteurs et les constructeurs d'installations, les sociétés de classification, les organismes de réglementation, les consultants et les laboratoires de recherche. Dans le but d'évaluer l'intérêt respectif de chacun de ces groupes pour les données sur les vagues, on a compilé tous les documents publiés sur le sujet, en particulier les manuels définissant les caractéristiques de conception et les normes et règlements des sociétés de classification. Cette documentation a par la suite été complétée par des entrevues avec les représentants des organismes consultés ou par une correspondance échangée avec eux. Tous ont souligné la nécessité d'améliorer, tant en qualité

qu'en quantité, les données accessibles en ce domaine au Canada. La rapidité de diffusion de ces données devrait être établie en fonction du lieu d'activité, de la structure et des responsabilités des organismes concernés. Quelle que soit leur sphère d'activité – conception, classification ou réglementation – aucune de ces organisations n'a relevé de limites aux méthodes actuelles d'obtention et d'analyse des données sur les vagues, ou d'application de ces données à des pratiques de conception qui déboucheraient sur la construction de structures non sécuritaires, de structures beaucoup trop complexes, ou encore sur des problèmes d'exploitation reliés à de telles structures. Des travaux de recherche et de développement dans le domaine de la mesure et de la prévision des vagues, et de leur interaction avec les structures construites, se poursuivent mais sans que l'on soit persuadé de l'urgence de ces travaux.

Pour mesurer la réaction (mouvement) des structures, les contraintes exercées sur leurs différentes composantes et la hauteur maximale des crêtes servant à déterminer la hauteur libre sous le pont, il faut disposer des meilleures données concernant la prévision de la hauteur maximale des vagues et de leur période pour une période de récurrence donnée, par exemple 100 ans. De plus, il est nécessaire que les données sur la fréquence utilisées dans l'analyse de la fatigue des composantes des installations tiennent compte de deux variables, par exemple des diagrammes de dispersion des hauteurs de vagues et des périodes de crêtes les plus significatives, dans toutes les directions. À cette fin, il peut être nécessaire de faire porter l'analyse sur une période de vingt ans. Les mêmes données fondées sur de plus courtes périodes de compilation, soit de trois à cinq ans, peuvent être utilisées pour établir les statistiques sur les valeurs extrêmes et sur les constances observées, ainsi que les autres critères nécessaires à la planification des opérations. Toutes ces descriptions statistiques des conditions de mer normales ou exceptionnelles constituent des données essentielles à la réalisation d'études de modèles soit par ordinateur, soit en cuves à houle.

■ **LES DONNÉES MESURÉES PAR INSTRUMENTS** De grands travaux de mesure des vagues ont été réalisés au Canada depuis 1970, en particulier par le Service des données sur le milieu marin (SDMM) de Pêches et Océans Canada. De nombreuses données sur les conditions de mer au large des côtes ont été obtenues grâce à des programmes réalisés conjointement par le SDMM et les compagnies pétrolières exploitant des unités de forage. Ces mesures sont obtenues à l'aide d'une bouée *Datawell Waverider* à accéléromètre qui consiste en une sphère attachée à un point d'ancrage unique. Cet appareil permet de recueillir, pour chaque endroit, les mesures importantes sur la hauteur significative des vagues, H_s (la hauteur significative de la vague, H_s , correspond à la moyenne du tiers supérieur des données compilées), et sur la période des crêtes à trois heures d'intervalle lorsque la valeur de H est inférieure à quatre mètres, et à toutes les vingt minutes lorsque cette valeur est supérieure à quatre mètres.

Les données recueillies au moyen de la bouée à accéléromètre présentent toutefois certaines limites. Ainsi, pour les régions situées au large des côtes du Canada, on ne dispose que des données recueillies sur les emplacements de forage qui ont été exploités jusqu'ici; de plus la période de compilation des données pour chaque emplacement est trop courte pour servir de base à des prévisions statistiques sûres des cas extrêmes tels que la hauteur significative de la vague dite «centenaire», c'est-à-dire celle dont la période de retour est de cent ans, et pour laquelle une période d'observation minimale de vingt ans est souhaitable. Actuellement, on ne dispose que de très peu de données pour les saisons d'hiver. Pour certaines applications du génie où la forme des vagues est importante, l'efficacité des données recueillies au moyen de la bouée à accéléromètre est limitée en raison de la distorsion du profil de la vague causée par l'ancrage.

Malgré toutes ces limites, les données obtenues au moyen de cet instrument sont d'une valeur inestimable dans certaines applications. En effet, il s'agit presque des seules mesures recueillies de façon objective pour un emplacement donné, fournissant des informations continues pour une période de plusieurs mois, et plus important encore, faisant état des tempêtes.

Il est essentiel que les données sur la direction et l'amplitude des vagues soient obtenues à l'aide d'instruments de mesure. Ce n'est que depuis 1983 que ces deux paramètres sont enregistrés par une bouée et encore, ce n'est qu'à titre d'essai. Il faudra beaucoup de temps, au moins vingt ans, avant que les données recueillies à l'aide de cette bouée directionnelle puissent être utilisées dans les prévisions de probabilités extrêmes. À court terme, cependant, ces observations peuvent permettre de vérifier la précision d'un modèle de prévision *a posteriori* d'une tempête en fournissant, en particulier, des informations sur la direction des vagues à un emplacement donné.

Des techniques de télédétection ont été utilisées pour mesurer les vagues à partir de satellites et d'avions. Ces techniques sont encore plus récentes que le programme de mesure à l'aide de la bouée à accéléromètre et reposent, par conséquent, sur des périodes d'observations plus courtes. Elles font appel notamment à l'altimètre laser, au diffusiomètre ainsi qu'à des radars perfectionnés. Jusqu'à maintenant, seul l'altimètre laser monté sur un satellite a permis de recueillir de façon précise et continue les données nécessaires sur la hauteur des vagues pour établir des ensembles de données climatologiques. Le premier et le seul satellite à transporter un radar capable d'enregistrer des données sur les vagues, a été le *Seasat* mis en orbite par la NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (É.-U.). Ce satellite n'a fonctionné que trois mois. Il a permis de recueillir des observations sur la hauteur significative des vagues dans toutes les mers du monde. Le Service des données sur le milieu marin a comparé un choix de données recueillies par le *Seasat* avec d'autres données obtenues à l'aide de la bouée à accéléromètre pour des périodes et des endroits correspondants. Il est ressorti des résultats que la marge de précision des données du *Seasat* se situait à l'intérieur de 10 pour cent, ce qui laissait supposer, qu'à l'avenir, on pourrait très avantageusement utiliser les satellites pour étudier la climatologie des vagues, pourvu que les observations portent sur des périodes et des territoires suffisamment grands. D'ici la fin de la décennie, on prévoit le lancement de plusieurs satellites, dont le *Radarsat* canadien, qui transporteront toute une gamme d'instruments de mesure des vagues.

■ **LES DONNÉES OBTENUES PAR L'OBSERVATION VISUELLE** Les navires en mer fournissent régulièrement des informations sur les conditions des vagues ainsi que sur les phénomènes météorologiques. Les observations sur les vagues fournissent une évaluation visuelle de la hauteur et de la période moyennes des plus hautes vagues, ce qui correspond approximativement à la hauteur significative et à la période des vagues. Ces données sont communiquées par radio au service météorologique approprié, le Service de l'environnement atmosphérique (SEA) dans le cas du Canada. Ce programme est à l'origine de la constitution d'une banque de données qui s'échelonnent sur plusieurs années et qui portent sur la majeure partie des zones situées au large de la côte est du Canada. Il constitue la base d'un ensemble de données sur les vagues recueillies depuis onze ans et connu sous le nom de METOC (Centre météorologique et océanographique).

■ **LES DONNÉES METOC** METOC provient de la compilation des tableaux sur les données significatives des vagues dressées deux fois par jour par le Centre météorologique et océanographique des Forces canadiennes, à Halifax. Ces tableaux sont établis à partir d'observations fournies par les navires en mer, des données en temps réel provenant des bouées à accéléromètre situées aux emplacements d'exploration pétrolière au large et près des côtes, ainsi que de données découlant

de prévision *a posteriori* pour les endroits où il est impossible d'obtenir des données en temps réel.

Les données sur les vagues fournies par METOC portent sur la partie septentrionale de l'océan Atlantique entre les 25° et 70° de latitude nord, à l'exception du golfe du Mexique, du golfe Saint-Laurent et de la baie d'Hudson. On accorde une plus grande valeur à cet ensemble de données qu'aux observations faites à partir des navires dont elle proviennent, à cause du travail d'évaluation subjective qui préside à l'établissement de cet ensemble de données. Les analystes comparent les données fournies par les navires qui se trouvent à proximité, afin de déterminer les erreurs et, à l'aide des tableaux précédents et des indices des prévisions *a posteriori*, ils évaluent les diverses sources d'information et, le cas échéant, comblent les lacunes.

Les données METOC sont utilisées à deux fins précises. D'abord, pour déterminer le climat des vagues à des fins opérationnelles. Par exemple, on peut établir 1) que la hauteur des vagues dépasse une certaine hauteur pendant 30 pour cent du temps en février et 2) que, lorsque les vagues dépassent une hauteur de six mètres à un moment donné de l'année, elles se maintiennent à cette hauteur en moyenne pendant 36 heures. Dans les régions pour lesquelles on dispose de suffisamment de rapports fournis par les navires, c'est-à-dire des rapports s'échelonnant sur plusieurs années et pour différentes saisons de l'année, les données de METOC constituent alors un bon instrument pour déterminer le climat des vagues. La deuxième utilisation des données METOC consiste à évaluer la récurrence des phénomènes exceptionnels. Ce processus repose sur la précision avec laquelle on réussit à déterminer la valeur des vagues les plus hautes lors des plus grosses tempêtes observées. Les données METOC, ainsi utilisées, sont moins sûres que celles qui proviennent de prévisions *a posteriori* rigoureuses, lesquelles constituent une méthode beaucoup plus sophistiquée qui repose sur un ensemble de données historiques plus détaillées et plus précises.

■ **LES DONNÉES NMIMET** NMIMET est un ensemble de programmes informatisés conçus par le *National Maritime Institute* (NMI) en collaboration avec le *Meteorological Office* de la Grande-Bretagne, dans le but de synthétiser les statistiques sur le climat des vagues obtenues à partir de l'observation visuelle de facteurs tels que la hauteur des vagues et la vitesse du vent ou la vitesse du vent seule. NMIMET comprend un modèle paramétrique de probabilité composée (hauteur des vagues et vitesse du vent) qui est utilisé comme fonction d'ajustement optimal pour équilibrer et améliorer la qualité des observations faites par les navires. Il est ainsi possible d'éliminer les observations peu vraisemblables sans intervenir de façon subjective. NMIMET a fait l'objet de nombreuses évaluations comparées avec des données recueillies dans les environs de la Grande-Bretagne. Ce programme a permis d'obtenir de bons résultats dans le domaine de l'excédence de la hauteur des vagues. Les données fournies par NMIMET pour trois régions d'étude particulières soit, sur la côte moyenne du Labrador, à proximité du champ Hibernia et dans les eaux profondes au large de l'île de Sable, ont permis d'obtenir les valeurs suivantes pour la hauteur significative de la vague centenaire: 14,2 mètres, 14,5 mètres et 17 mètres, respectivement.

■ **LES DONNÉES A POSTERIORI** Pour décrire avec suffisamment de précision le climat des vagues de toute masse d'eau, il faut posséder des renseignements sur le champ de vent soufflant sur cette région et ce, pour plusieurs années. C'est ce que l'on appelle des prévisions *a posteriori*. Idéalement, le calcul de ces données nécessite la réalisation d'un modèle mathématique permettant de simuler les processus de génération, de croissance et de propagation des vagues, ainsi que leur interaction avec d'autres vagues, les courants et le fond de la mer.

Il y a deux catégories de modèles. Les plus simples se résument à une méthode empirique qui fournit une évaluation de la hauteur significative de la

vague et de sa période, ou d'autres paramètres, mais qui ne traite pas en profondeur des données physiques du problème. L'autre catégorie comprend les modèles spectraux qui, au moyen d'un spectre à variance directionnelle, donne une description de l'état de la mer. Ces modèles peuvent comprendre des équations qui traitent de l'équilibre énergétique de spectre et du transfert d'énergie entre les périodes des vagues (interaction d'une vague avec une autre vague) et qui nécessitent des calculs beaucoup plus complexes que pour les modèles empiriques.

Dans les modèles simples, on suppose que la vitesse du vent est constante, tandis que dans les modèles complexes, ce facteur est calculé selon des points de référence à répétition cyclique. La précision de cette dernière méthode repose en grande partie sur la finesse de la grille et sur l'intervalle entre les relevés des données sur la célérité du vent. Les données sur le vent utilisées dans la grille sont déterminées à partir des gradients de pression, bien que dans certains cas on puisse recourir à d'autres mesures obtenues par des moyens différents.

U.S. Navy Fleet Numerical Oceanographic Center a établi des prévisions *a posteriori* sur une période de vingt ans pour la Région de l'Atlantique nord, à l'aide du modèle spectral SOWM (*Spectral ocean wave model*). Bien que ce modèle fournisse une bonne description du climat des vagues en haute mer, il présente deux inconvénients majeurs lorsqu'on l'applique à la région que l'on veut étudier ici. Ainsi, ce modèle situe la côte beaucoup plus à l'ouest qu'elle ne l'est en réalité, ce qui a pour effet d'allonger indûment la course des vents de l'ouest. De plus, le modèle ne tient pas compte de la banquise, ce qui a pour effet d'allonger la course des vents qui soufflent à partir des glaces. Ces deux lacunes entraînent une surestimation de la hauteur significative des vagues. On ne peut donc utiliser le modèle SOWM pour étudier la région qui nous intéresse.

Une étude des renseignements sur les vagues pour les eaux littorales de la côte est de l'Amérique du Nord ou *Wave Information Study* (WIS) a été réalisée par la *US Army Engineers Waterways Experiment Station* pour la même période que celle visée par le modèle SOWM, c'est-à-dire de 1956 à 1975. Il semble que dans ces prévisions on ait remédié à certaines lacunes du modèle SOWM et que l'on ait bénéficié de l'utilisation d'un nouveau modèle de prévision des vagues. Toutefois, le modèle WIS ne définit pas encore adéquatement le littoral de la région étudiée, ni ne tient compte de la présence de glaces de sorte que la hauteur des vagues y est encore surestimée, bien que l'écart soit moins important que dans le modèle SOWM.

C'est à l'aide des prévisions *a posteriori* d'Oceanweather Inc., réalisées en 1982 pour la société Mobil Oil Canada Ltd, que l'on a déterminé les extrêmes des conditions de la houle dont il fallait tenir compte dans la conception des structures de la région du champ Hibernia. Pour cette étude on a utilisé une grille plus fine que celle du modèle WIS, ce qui a donné un meilleur quadrillage de la côte. Dans cette étude on a également tenu compte de l'incidence de la banquise, le cas échéant, choisi une période d'observation plus longue des tempêtes, soit trente ans au lieu de vingt ans, et d'une façon générale, utilisé de meilleures données sur les vents. C'est ce qui a permis d'obtenir les meilleures prévisions *a posteriori* dont on dispose à ce jour pour cette région particulière. Néanmoins, on peut s'interroger sur la valeur du choix des tempêtes retenues dans la prévision. En effet, on peut se demander si on a retenu les tempêtes les plus fortes, car certaines tempêtes semblent moins fortes que la «tempête annuelle» et seulement vingt tempêtes ont été retenues sur une période de trente ans.

On a vérifié les résultats obtenus au moyen du modèle d'Oceanweather Inc. en les comparant aux résultats recueillis, grâce à la bouée à accéléromètre, au cours de deux tempêtes. Le modèle a prévu comme valeur maximale de la hauteur significative de la vague 11,3 mètres dans le cas de la première tempête, et 8,9 mètres pour la deuxième, tandis que les données recueillies au moyen de la

bouée à accéléromètre indiquaient des hauteurs respectives de 10,1 mètres et de 8,7 mètres. Les prévisions *a posteriori* font état d'une variation importante dans le climat des vagues à l'est de Terre-Neuve. En effet, on note une augmentation de la hauteur significative de la vague à mesure que l'on s'éloigne de la côte vers l'est, la hauteur de la vague de cent ans étant de 13 mètres près de la côte, et de 16 mètres à quelque 200 milles marins au large. Dans les environs du champ Hibernia, la valeur qui semble la plus probable pour la hauteur maximale de la vague centenaire a été établie à 30 mètres et sa période, à environ 16 secondes.

En 1978, une prévision *a posteriori* réalisée à la demande de la société Total Eastcan Exploration Ltd., a permis de recueillir des données en quatre endroits répartis également le long de plateau du Labrador. Dans cette étude, la valeur des données relatives à la hauteur significative de la vague centenaire varie entre 13,5 mètres au nord et 16,3 mètres au sud. La principale lacune de cette étude réside dans le faible échantillonnage qui a été retenu, soit sept ans, pour évaluer les situations extrêmes.

■ **L'ANALYSE DES VALEURS EXTRÊMES** L'extrapolation des séries chronologiques d'un paramètre donné en vue d'estimer la valeur maximale probable de ce paramètre pour une période donnée, constitue un problème théorique et pratique d'envergure. Pour le résoudre on dispose, à ce jour, de deux méthodes qui sont généralement utilisées. La première consiste à adapter une fonction de distribution statistique à toutes les valeurs observées dans une période donnée. Pour l'évaluation de la hauteur des vagues, on a généralement recours à la loi lognormale et à la distribution de probabilité de Weibull. L'autre méthode repose sur l'évaluation statistique des cas extrêmes pour une période donnée. Les valeurs élevées sont retenues et ajustées en fonction de distribution Fischer-Tippett, du type I, II ou III. Dans le cas des vagues, l'analyse porterait sur les vagues observées pendant les tempêtes. L'objectif visé dans l'utilisation d'une distribution des valeurs extrêmes, est de fournir une description de toutes les tempêtes (vagues) pour ensuite déterminer l'ampleur de la plus haute vague qui pourrait survenir dans un intervalle donné, par exemple une fois tous les cent ans.

Pour le plateau Scotian, on ne dispose pas de données sûres permettant de décrire les plus grosses tempêtes. Cependant, une étude appuyée par le Fonds renouvelable pour les études environnementales (FREE) est en cours et vise précisément la description des 30 à 50 tempêtes les plus importantes observées dans cette région. D'autres études sont également en cours pour déterminer les méthodes que l'on pourrait utiliser pour étudier la propagation des vagues dans les zones de bas-fonds comme il en existe sur le plateau Scotian. Parmi les problèmes spécifiques à cette région, mentionnons les effets dus aux bas-fonds, la présence de l'île de Sable qui crée une sorte d'abri et peut-être également l'interaction des vagues et des courants.

En ce qui concerne l'étude des situations extrêmes, on dispose de plus de prévisions pour la région des Grands bancs, et en particulier pour le champ Hibernia, que pour toute autre région. À l'heure actuelle, les seules données qui devraient être retenues pour l'analyse des situations extrêmes sont celles fournies par les prévisions *a posteriori* de la société Mobil. Il y aurait lieu de se pencher sur le choix des tempêtes retenues aux fins de l'étude et de prévoir une méthode de vérification supplémentaire avant d'accepter les valeurs nécessaires à la conception des installations. Le projet de répertoire des tempêtes appuyé par le FREE, permettra de répondre à au moins une partie de cette question. Dans cette région, on doit tenir compte de problèmes spéciaux comme la présence d'un front de glace et, peut-être des effets de la bathymétrie sur les conditions de vagues extrêmes. En l'occurrence, une analyse en profondeur des effets bathymétriques et des courants s'impose.

Pour décrire le climat des vagues de la mer du Labrador, on dispose de beaucoup moins d'informations que pour les régions plus méridionales. Le modèle SOWM n'est d'aucune utilité pour cette région. L'étude des renseignements sur les vagues ne fournit aucune donnée pour la mer du Labrador au-delà du 53° de latitude nord; quant aux données METOC, elles sont probablement utiles sur le plan opérationnel pendant les saisons de l'été et de l'automne, c'est-à-dire au moment où l'on dispose d'un nombre suffisant de rapports fournis par les navires naviguant dans ces eaux. L'analyse la plus sérieuse en ce qui concerne les situations extrêmes, semble être la prévision *a posteriori* réalisée par la société Total Eastcan. Toutefois, on doit l'utiliser avec prudence car elle fournit un échantillonnage de tempêtes portant sur sept années seulement. Il serait maintenant possible de réaliser une bien meilleure prévision, car on dispose aujourd'hui de beaucoup plus de données qu'en 1976. Le projet de répertoire des tempêtes du FREE devrait servir de point de départ.

Le golfe Saint-Laurent n'a fait l'objet que d'une seule prévision, limitée d'ailleurs aux besoins spécifiques du projet Gulf Corridor. Ces données peuvent être d'une certaine utilité pour la planification et la conduite des opérations, mais elles présentent très peu d'intérêt pour la prévision des situations extrêmes. Cependant, il est évident que le climat des vagues du golfe est beaucoup moins rigoureux que celui d'autres régions en haute mer faisant l'objet de l'étude.

On ne dispose d'aucune donnée précise ni d'aucune prévision *a posteriori* pour le détroit de Davis, la baie de Baffin et le détroit de Lancaster. Dans ces régions septentrionales, le climat des vagues est moins rigoureux en raison de la présence de glaces et de la course limitée du vent dans la plupart des directions, ce qui a pour effet d'entraver la croissance des vagues.

■ **LES ZONES D'ÉTUDE SPÉCIALE** Les techniques de prévision étudiées jusqu'ici visent les régions d'eau profonde et ne tiennent donc pas compte de l'effet de la présence de bas-fonds sur les vagues. À une profondeur d'environ 100 mètres, les plus grosses vagues commencent à subir une transformation qui a des répercussions sur leur hauteur, leur longueur, leur période, leur vitesse et leur direction. Ces effets se répercutent progressivement sur les vagues plus petites ou dans les régions des bas-fonds, et se font particulièrement sentir dans les eaux dont la profondeur est inférieure à 50 mètres. La région des Grands bancs et celle du plateau Scotian possèdent de nombreuses zones de bas-fonds de cette sorte. L'une de ces régions les plus caractéristiques est l'emplacement Venture où la profondeur de l'eau atteint à peine 20 mètres.

Les modèles permettant d'étudier la transformation des vagues sous l'effet des bas-fonds n'en n'est qu'à ses débuts et souffre d'un manque de connaissances sur tous les facteurs physiques en cause. Les modèles dont on dispose actuellement décrivent le phénomène sans en apporter de vérification, ou en le vérifiant à l'aide de données très limitées s'appliquant uniquement à des circonstances bien particulières. On ne dispose actuellement d'aucun rapport d'analyse du processus de transformation des vagues pour aucune de ces régions.

On reconnaît qu'un certain nombre de caractéristiques des vagues peuvent amener les structures à bouger ou à réagir sous l'effet de contraintes exercées d'une façon tout à fait différente de celle qui peut être prévue par des analyses effectuées à partir de caractéristiques normales des vagues. C'est ce que l'on appelle des conditions exceptionnelles de vagues, soit des vagues assymétriques, des brisants de vague en eau profonde, des trains d'ondes et des vagues dites «monstrueuses».

Les observations recueillies font ressortir le phénomène d'assymétrie des vagues. En effet, la pente moyenne de la partie antérieure d'une vague est plus abrupte que celle de sa partie postérieure. Il se peut que la pente des vagues soit plus abrupte que celle prévue dans la conception des structures et qu'elle entraîne

des charges beaucoup plus fortes de la houle sur ces structures.

Les brisants de vagues en haute mer sont dus à la très forte non linéarité des conditions limitrophes de la surface libre de la mer et constituent l'un des aspects les moins bien connus des vagues. L'augmentation de la pente des vagues et la formation de brisants proviennent de la rencontre de deux courants opposés ainsi que de l'interaction non linéaire de plusieurs vagues dans un train d'ondes.

Bien des rapports font état de groupements de vagues. On remarque dans ces rapports que les plus grosses lames sont regroupées plutôt que d'être dispersées au hasard. Il a été prouvé que certaines structures peuvent réagir différemment à deux trains de vague (l'un regroupant les plus grosses lames), même si la hauteur moyenne ou significative des vagues est la même dans les deux trains d'ondes. Deux phénomènes permettent d'expliquer cette situation: la réunion de deux groupes d'ondes formés l'un sous l'autre peut entraîner la formation de longues vagues qui peuvent influencer la réaction de la structure. Ce phénomène est particulièrement sensible dans les zones de bas-fonds. La charge portée par une succession de fortes lames génère des fréquences d'excitation reliées à la fréquence de répétition du groupe de vagues plutôt qu'à la fréquence des vagues mêmes. Cela entraîne d'importantes conséquences pour les grandes structures.

Pour décrire les fortes lames que l'on rencontre occasionnellement en haute mer on utilise des termes tels que vague «monstrueuse», «épisode», «exceptionnelle», etc. Il existe un grand nombre de rapports indiquant que des navires ont subi des avaries à cause de telles vagues. Cependant, on ne dispose d'aucune base théorique pour décrire leur fréquence. En présence d'un gradient horizontal de courant, le phénomène de réfraction peut entraîner une concentration de l'énergie des vagues. À cet effet peut s'ajouter l'augmentation de la pente de la vague lorsque la direction de celle-ci s'oppose au courant pour produire de très mauvaises conditions de mer. Un grand nombre des «vagues monstrueuses» signalées par les navires l'ont été dans les régions de forts courants océaniques. L'une de ces régions bien connues se trouve près du bord du plateau continental au large de la côte sud-est de l'Afrique, où le courant Agulhas se déplace rapidement vers le sud et intercepte les hautes vagues océaniques se déplaçant du sud vers le nord, créant des conditions de mer particulièrement dévastatrices. Aucune analyse de l'interaction possible des vagues et des courants dans la région étudiée, ni de l'incidence de l'augmentation de la hauteur des vagues n'a encore été publiée.

La plus importante lacune des recherches actuelles sur les vagues exceptionnelles est le manque de mesures de prototype de ces vagues, c'est-à-dire des mesures qui décrivent avec précision toutes leurs caractéristiques et ce, en trois dimensions. Pour combler cette lacune, il faudrait un programme de mesures qui mettrait l'accent sur les points suivants: mesure ponctuelle du profil de la vague en surface en un point donné, une description aussi complète que possible des caractéristiques relatives à la direction des vagues, l'enregistrement continu de données pendant les tempêtes et l'établissement d'une carte de la surface de la mer en un instant précis qui fournirait des renseignements semblables à ceux d'une photographie stéréoscopique.

■ **CONCLUSIONS** En résumé, la documentation actuelle ne fournit que le minimum de renseignements nécessaires à la conception et à la certification, ainsi qu'aux organismes de réglementation. D'une façon générale, les représentants de l'industrie pétrolière considèrent que, si l'on respecte les normes actuelles, il est possible de construire et d'exploiter des structures sécuritaires et efficaces. Les auteurs du présent document n'ont jusqu'à maintenant aucune preuve du contraire.

À des fins opérationnelles, il est nécessaire de disposer de mesures simultanées des vagues, des courants et des conditions de vent recueillies pendant une

période de trois à cinq années. En ce qui concerne la conception des installations, pour déterminer le champ de vent de façon adéquate, on doit s'appuyer sur une prévision *a posteriori* des conditions des vagues pendant toutes les tempêtes pour lesquelles on dispose de données météorologiques précises. Ces observations doivent porter sur une période minimale de 20 ans.

Actuellement, on ne dispose pas de telles données pour toute la région à l'étude. Il existe des prévisions adéquates sur le climat des vagues pouvant être utilisées à des fins opérationnelles, mais uniquement pour certaines régions du sud. Par contre, aucune valeur extrême pour quelque région que ce soit, ne peut être retenue sans qu'on en fasse une analyse plus poussée. Les meilleures données actuellement disponibles sont celles de la prévision *a posteriori* de la société Mobil Oil concernant le champ Hibernia, mais il ne s'agit que de valeurs extrêmes, non du climat des vagues et, de plus, ces données ne portent que sur une petite région. L'absence de la plupart des données complexes nécessaires aux organismes de recherche s'explique soit par la très grande difficulté à mesurer les paramètres nécessaires, soit parce qu'on ne dispose pas des instruments pour le faire.

Il faudrait, dans un avenir rapproché, obtenir des données sur les vagues qui permettraient de fonder une prévision très précise des conditions extrêmes pour différentes régions de la zone étudiée. La nécessité de telles données est moins impérative dans le cas de forages d'exploration pour lesquels on utilise des installations de classe illimitée ou dans le cas de prévisions conservatrices. Par contre, dans le cas d'installations d'exploitation conçues en fonction du climat des vagues de la région où elles doivent être installées, ces données sont hautement prioritaires. Les organismes qui ont besoin de ces données pourraient se réunir pour établir un programme conjoint à cette fin.

Il faudrait également des modèles permettant de décrire le mouvement des vagues dans les régions de bas-fonds ainsi que leur interaction avec les courants. Ces modèles devraient ensuite faire l'objet de vérifications grâce aux observations recueillies sur différents emplacements de forage de la côte est du Canada.

Les instruments permettant de mesurer les propriétés relatives à la direction et au profil des vagues devront faire l'objet de perfectionnements ultérieurs et d'essais sur le terrain.

Les systèmes de télédétection par satellite constitueront dans l'avenir une source inestimable de renseignements sur les vagues. Il est important que l'on suive de près les progrès réalisés dans ce domaine et que l'on prenne les mesures appropriées pour en intégrer les données aux programmes sur les vagues aussitôt qu'il sera avantageux de le faire.

On doit disposer de mesures simultanées des vagues, des courants, des vents et ce, pour toutes les régions où sont concentrées les activités de forage. Les données sur les vagues jointes à des mesures ou à des prévisions de vents et de courants ont considérablement plus de valeur pour l'industrie pétrolière que des données sur les vagues seules.

Informations océanographiques pour l'industrie offshore de la côte est du Canada: conditions requises pour le forage d'exploration
Seaconsult Limited,
Saint-Jean, Terre-Neuve,
août 1984

INFORMATIONS OCÉANOGRAPHIQUES

Les courants marins peuvent influencer sur les opérations de forage de différentes façons: en augmentant les charges sur la plate-forme, en entravant les opérations de forage ou de plongée, en déplaçant les sédiments ou en augmentant ou en réduisant la cambrure de la vague. Ils sont principalement caractérisés par une grande variabilité et une diversité spatiales et temporelles. Sur une très grande échelle et pendant de longues périodes (soit sur plusieurs dizaines de kilomètres et pendant des jours et des mois), les facteurs qui influent le plus fortement sur le mouvement des masses d'eau sont les changements saisonniers de la température et de l'écoulement des eaux, ainsi que les diverses caractéristiques topographiques. Sur une plus petite échelle, les vents de tempête, les méandres et les remous sont autant de facteurs qui contribuent au déplacement et à la modification des grands courants dont l'action se fait sentir à un emplacement donné. Si l'on considère une distance de quelques dizaines de kilomètres et une période allant de quelques heures à une journée, on observe des phénomènes tels que les marées et les déferlements de houle dus aux tempêtes. Ces divers écoulement d'eau sont très fortement influencés par la bathymétrie et la stratification locales. Sur une plus petite échelle encore, soit sur une distance de quelques centaines de mètres et pendant quelques minutes, la fluctuation du mouvement de la masse d'eau est principalement due aux ondes internes. En certains endroits, ces vagues peuvent avoir une très grande amplitude et peuvent entraîner la formation de très forts courants.

Certains instruments, techniques analytiques et modèles de prévision sont conçus de façon à permettre de traiter et d'expliquer quelques-uns seulement de ces phénomènes, mais non à toutes les échelles. Cette situation a une double incidence sur le problème en cause. Premièrement, pour prévoir les valeurs extrêmes des courants, on doit être en mesure de prédire de quelle façon les différentes variations se combinent pour produire les pires conditions d'écoulement à un moment probable et ce, de préférence à toutes les échelles et avec une précision acceptable. Deuxièmement, les conditions environnementales qui peuvent menacer la sécurité des travailleurs pendant les opérations courantes telles que la plongée ou la manipulation d'éléments sous-marins de forage, sont bien souvent reliés à des phénomènes de courte durée, limités à un endroit donné. À l'heure actuelle, on dispose de bien peu de données sur ces phénomènes et ils sont parmi les moins faciles à prévoir.

■ **ÉTABLISSEMENT ET MESURE DES PARAMÈTRES** En océanographie moderne, pour décrire les courants océanographiques et les masses d'eau, on a recours à des

paramètres physiques de base tels que la vitesse, la direction, la température en un point donné, la salinité et la densité de l'eau. Il est tout à fait juste de procéder de cette façon, car ces paramètres sont essentiels à une compréhension dynamique des courants et, à une exception près, soit la densité de l'eau, ils sont directement mesurables en milieu océanique. Les capteurs conçus pour mesurer ces paramètres avec précision et les techniques d'ancrage de même que les instruments actuellement utilisés au large des côtes répondent, dans la plupart des cas, exactement aux besoins pour lesquels ils ont été conçus.

Les lignes directrices des organismes de réglementation, exigent que trois courantomètres soient répartis le long de la colonne d'eau soit à 20 mètres de profondeur, à mi-chemin et près du fond (habituellement 20 mètres au-dessus du fond marin) et ce, dans tous les sites de forage. La plupart des données dont on dispose proviennent d'ancrages installés par des exploitants offshore. Dans les régions de bas-fonds, c'est-à-dire à moins de 100 mètres de profondeur environ, trois enregistreurs peuvent fournir une résolution verticale adéquate des courants. Dans d'autres régions, par exemple le long de la côte du Labrador, cette façon de procéder peut ne pas être satisfaisante car la distance séparant les enregistreurs pourrait ne regrouper que les courants principaux. Bien souvent, la description des courants dus au vent et celle du déplacement des ondes internes fournies par ces données ne permettent pas de vérifier les données des modèles de prévision ou des modèles interprétatifs. Une utilisation rationnelle des instruments de mesure tenant compte des besoins dynamiques du domaine océanographique et des derniers développements en ce domaine, pourrait conduire à l'obtention de données plus utiles.

On dispose aujourd'hui d'instruments parfaitement au point pour procéder à un échantillonnage détaillé de la température et de la conductivité de l'eau en profondeur. À l'aide de ces instruments on obtient des données sur la stratification verticale des eaux, c'est-à-dire les différences de densité qui sont essentielles pour prévoir les valeurs extrêmes des courants. Les organismes de réglementation n'exigent pas que ces données soient recueillies conjointement avec les relevés des courantomètres installés par l'industrie. Cela constitue une grande lacune dans les programmes de mesure, car l'absence de ces données limite grandement l'interprétation et la modélisation.

■ *LES TECHNIQUES ANALYTIQUES* Le but de ces méthodes d'analyse des données est de fournir des observations valables à partir d'enregistrements et de classer les mouvements en fonction d'éléments pouvant s'expliquer par des mécanismes de forces diverses. C'est dans cette dernière catégorie, par exemple, que l'on range les techniques permettant de déterminer les caractéristiques de l'écoulement résultant de l'interaction des vagues (marées) et de la bathymétrie. Il s'agit là d'un domaine dans lequel la communauté océanographique fait actuellement des recherches très intensives. On peut s'attendre à ce que de nouvelles méthodes soient proposées régulièrement. Toutefois, rien ne laisse supposer que les méthodes qui ont été utilisées jusqu'à maintenant pour analyser les données recueillies dans les eaux canadiennes aient été inefficaces. Les problèmes tiennent plus à la nature des données et aux endroits de collecte qu'aux méthodes d'analyse utilisées.

■ *LES TECHNIQUES DE PRÉDICTION* Les méthodes statistiques de dérivation des valeurs extrêmes des courants reposent sur de longues séries chronologiques de données. La méthode idéale de mesure consiste à faire suffisamment de relevés directs à différentes profondeurs de la tranche ou de la colonne d'eau, afin de pouvoir déterminer le profil de la vitesse des courants. Une autre méthode consiste à faire des prévisions à l'aide de modèles empiriques ou déterministes. Cependant, cette méthode présente certaines limites puisqu'elle repose sur la qualité des données sur le vent et sur la valeur des modèles mêmes. Actuellement il n'existe

aucune règle pour déterminer la longueur de la série chronologique qui doit être utilisée. Dans le détroit de Davis, on a constaté que les prévisions sur une base d'observation de 60 jours présentaient des erreurs de l'ordre de 50 pour cent, soit une erreur de 10 cm par second pour tous les 20 cm par seconde. Pour améliorer vraiment cette méthode de prévision, il faudrait procéder à un échantillonnage continu pendant trois ans mais pour arriver à un pourcentage d'erreur de 10 dans la variance du débit moyen (ce qui revêt de l'importance pour l'estimation des extrêmes) il faudrait environ 28 ans de collecte de données.

Nulle part au large de la côte est canadienne ces conditions ne sont remplies. Il n'y a que pour un secteur près du champ Hibernia que l'on possède des données s'échelonnant sur plusieurs années (environ trois ans). Et même dans ce cas, les relevés n'ayant pas été faits exactement au même endroit, on peut s'attendre à de légères différences dans les courants, mais si légères soient-elles, ces différences ne manquent pas d'exercer une certaine incidence sur la précision des valeurs extrêmes prédites. De plus, la qualité des appareils d'enregistrements a varié au fil des ans, de sorte que la précision de la base de données ainsi constituée est elle aussi inégale.

■ **LES COURANTS DE MARÉE** En général, lorsqu'on dispose de mesures sur les courants pour des périodes de 30 jours ou plus (échantillonnages horaires ou plus fréquents), il est possible de prévoir les courants de marée à l'aide d'une analyse harmonique. Comme la plupart des appareils d'enregistrement sont installés pendant plus de 30 jours, les prévisions des maximums de courants de marée peuvent répondre aux besoins opérationnels de forage et d'évaluation des installations et être faits aux endroits où les mesures sont prises. Cependant, la précision de ces prévisions reste à prouver, ce qui limite la fiabilité des valeurs extrêmes.

Un problème plus épineux se pose lorsqu'il s'agit d'interpoler les courants de marée entre les sites d'observation. La bathymétrie des plateaux continentaux de même que la configuration du littoral entraînent une forte variation spatiale de l'écoulement des marées; tel est le cas de la zone qui se trouve à proximité de l'embouchure du détroit d'Hudson où la vitesse d'écoulement du courant de marée dépasse cinq noeuds. En principe, il est possible de calculer ces effets à l'aide de modèles hydrodynamiques numériques en étudiant les variations du niveau des marées à l'intérieur des limites du modèle. Cependant, les données sur le niveau de l'eau dans les endroits stratégiques en haute mer font défaut pour la plupart des régions à l'étude, à l'exception du sud du plateau Scotian et des Grands bancs qui font depuis peu l'objet d'un récent programme de collecte de données.

Il semble donc qu'il soit possible de prévoir l'amplitude ainsi que la fréquence des valeurs maximales des courants de marée dans des endroits donnés et ce, avec une précision acceptable. Étant donné que les données recueillies sont concentrées en des points donnés et que les variations dans l'écoulement des marées sont très fortes, il est difficile de faire des interpolations pour des endroits précis. Les modèles déterministes permettent de le faire avec une précision passable. Cependant, jusqu'à maintenant ce genre de modèles n'a pas été réalisé et a été très limité faute de données sur le niveau des eaux en haute mer.

■ **LES COURANTS DUS AU VENT** Les valeurs extrêmes des courants dus au vent peuvent être prévues à l'aide de modèles statistiques ou de modèles déterministes forcés par des observations sur le retour du vent de 50 ou de 100 ans. La première méthode exige que les courants dus au vent soient isolés des autres mesures, ce qui est possible grâce aux techniques analytiques actuelles, et que les observations portent sur plusieurs années. Les données dont on dispose actuellement ne permettent pas de remplir cette dernière condition pour la région à l'étude.

Les modèles déterministes des courants reposant sur une série chronologique de l'action du vent sur la surface de la mer, peuvent fournir de bonnes prévi-

sions de ces courants dans la mesure où l'on peut déterminer la stratification de la densité dont dépend la réaction maximale des eaux. En principe, cela peut être fait à partir des données sur la propriété des eaux, recueillies par le Service des données sur le milieu marin à Ottawa, bien qu'il puisse s'y glisser une certaine incertitude en raison de l'interpolation en profondeur. L'autre exigence consiste à obtenir des données sur le terrain afin de calibrer les modèles. On dispose de telles données pour le champ Hibernia et le plateau Scotian autour de l'île de Sable, où des mesures ont été prises à l'aide de courantomètres permettant de calculer la moyenne des vecteurs. Pour les autres régions, il existe peu de données pouvant être utiles au calibrage.

Les modèles empiriques reposant sur les multiples interactions du vent et des mesures de courant recueillies permettent, grâce à des prévisions *a posteriori* des courants faites à partir d'observations à long terme des vents, de prolonger grandement dans le temps les mesures de la base de données. Ces méthodes n'ont encore été utilisées pour aucune des régions à l'étude, mais pourraient se révéler assez efficaces si elles l'étaient pour le champ Hibernia et pour certains endroits près de l'île de Sable.

■ **LES COURANTS RÉSIDUELS** Les courants internes de faible fréquence produits par les différences de densité et les variations saisonnières de l'impulsion du vent sur la surface de la mer ne peuvent être prédits avec assurance qu'en utilisant des modèles statistiques basés sur des séries chronologiques de mesures. La réalisation de ces modèles repose également sur des ensembles de données basés sur plusieurs années d'observation. Malheureusement, on ne dispose pas de telles données. Les variations spatiales sont également très grandes selon la bathymétrie et la topographie propres à chaque endroit; c'est pourquoi il est très difficile de faire des interpolations entre les différents endroits où les mesures sont prises. Il existe bien des cartes de courants géostrophiques pour plusieurs zones d'exploration, mais ces cartes ne fournissent qu'un guide très sommaire de la situation des principaux courants et de leur vitesse d'écoulement. Du point de vue de l'ingénierie, la précision de ces cartes est extrêmement limitée, car elles ne font état que d'une fraction de l'écoulement et ne fournissent aucun renseignement sur les variations de l'écoulement au cours de périodes allant de quelques jours à quelques semaines.

Il ne faut pas non plus négliger les courants résiduels dans la dérivation des valeurs extrêmes. La plupart des zones exploitées au large de la côte est du Canada se trouvent près des grands courants océaniques longeant le littoral. Parmi ces courants se trouvent le courant de Baffin dans le détroit de Lancaster, la baie de Baffin et le détroit de Davis, dont la vitesse maximale d'écoulement peut atteindre de 50 à 80 cm par seconde, ainsi que le courant du Labrador longeant la côte du Labrador et le côté est des Grands bancs et dont la vitesse maximale d'écoulement varie entre 35 et 70 cm par seconde. Dans ces régions, les courants résiduels peuvent être supérieurs aux courants de marée qui se font sentir au large de la zone côtière. La prévision des valeurs extrêmes des vitesses d'écoulement devra s'appuyer sur des mesures précises. On peut, en principe, utiliser à cette fin des modèles déterministes à trois dimensions tenant compte des variations de densité et des forces atmosphériques si l'on a suffisamment de données pour mettre en branle et réaliser ces modèles. Ce n'est malheureusement pas le cas en l'occurrence. Aux incertitudes des résultats dues aux hypothèses de formulation de ces modèles s'ajoute un autre problème: celui des coûts de traitement informatique. Pour toutes ces raisons, on considère que les mesures prises sur place à l'aide d'instruments sont plus fiables que les prévisions par modèles dont on dispose actuellement et ce, même si ces mesures ne portent que sur de courtes périodes.

■ **LES COURANTS HAUTE FRÉQUENCE** Bien souvent, dans la prévision des valeurs

extrêmes des courants, on néglige ceux dont la fluctuation est rapide, c'est-à-dire dont la période varie entre quelques minutes et quelques heures. Ces courants sont causés par des facteurs tels que les ondes internes se manifestent près de la surface ou par des courants de gravité le long du fond marin, et peuvent être suffisamment puissants pour perturber les opérations de forage. La plongée sous-marine est, elle aussi, particulièrement sensible aux changements soudains de courant. Ces grands courants de haute fréquence étant rares et sporadiques, il est à peu près impossible de les prévoir. Cela est dû en fait au manque de connaissances sur leurs causes, par exemple, sur ce qui déclenche la formation d'ondes solitaires dans le détroit de Davis et sur la façon dont elles se propagent dans l'océan. En ce domaine, les modèles théoriques présentent certaines lacunes, et les observations océaniques sur place font grandement défaut.

Sauf pour ce qui est des recherches sur les vagues solitaires du détroit de Davis, jusqu'à maintenant, il n'a pas été tenu compte des signaux de haute fréquence dans la collecte des données. Les instruments de mesure utilisés l'ont été à des intervalles trop longs pour permettre de résoudre le problème des ondes internes et se trouvaient trop haut au-dessus du fond marin pour enregistrer les grands courants profonds. Toutefois, il semble que les mouvements de courants pouvant être dangereux sont plutôt rares au large de la côte est canadienne. Les prévisions reposent donc sur la mesure des phénomènes ayant une incidence sur une zone donnée, la fréquence et, le cas échéant, la périodicité de ces phénomènes, et sur l'étude de ces données pour prévoir les opérations en conséquence.

Pour découvrir ces phénomènes, de nouvelles données seront nécessaires (photographies spatiales et mesures sur place), et peut-être même des données en temps réel pour exécuter les opérations d'exploration. Ces techniques ont été utilisées avec succès dans le détroit de Davis pour déceler les ondes solitaires. On a également observé des ondes internes de forte amplitude sur le bord du plateau Scotian, et la présence de marées le long des Grands bancs peut entraîner la formation de vagues dans cette région. Cependant, jusqu'ici, aucune onde interne de forte amplitude n'a été observée dans la région des Grands bancs.

■ *LA DISPONIBILITÉ DES DONNÉES* Les données sur les courants proviennent de trois sources principales: la recherche scientifique gouvernementale, les études régionales réalisées par l'industrie et les dispositifs installés par l'industrie pétrolière aux emplacements de forage. C'est cette dernière contribution qui est la plus grande. Si l'on considère la répartition spatiale des données et la durée des observations à chaque endroit, il est évident qu'il n'existe aucun plan océanographique pluriannuel valable. Ce dont on dispose actuellement correspond plutôt à un ensemble de données disparates portant sur de courtes périodes d'observation et qui sont largement concentrées dans les zones d'exploitation ou d'exploration intenses. Les mesures systématiques pendant de longues périodes aux différents endroits qui permettraient de localiser avec précision les principaux courants et fourniraient des données précieuses pour la prévision par modèles n'ont pas encore été entreprises. Certaines données peuvent être utiles dans la dérivation des valeurs extrêmes. Toutefois, en raison de la diversité des instruments de mesure utilisés et des points d'ancrage, cet exercice nécessite alors beaucoup de jugement et exige que l'on fasse des recoupements entre les observations. De plus on ne dispose que de bien peu de données sûres qui puissent guider l'élaboration des hypothèses quant aux variations spatiales.

Les lignes directrices régissant l'industrie pétrolière ont conduit à l'installation de courantomètres près de tous les sites de forage, indépendamment du temps prévu pour la réalisation complète du programme de forage. Le besoin de prendre des mesures à des endroits déterminés sur une base continue ne s'est pas fait sentir; il n'y a donc pas eu d'efforts de déploiés en ce sens. Les données obtenues grâce à la réglementation ont pu être utiles pour répondre à des questions

concernant la modification des programmes de forage considérés cas par cas, mais elles sont de bien peu de valeur dans la dérivation des valeurs extrêmes à long terme. Cette méthode pouvait être efficace au temps des premiers forages d'exploration, mais l'est beaucoup moins aujourd'hui si l'on tient compte des dernières découvertes et de la grande expansion des activités de forage dans certaines régions, par exemple les Grands bancs du nord-est.

Toute interprétation ou modélisation valable des courants océaniques exige que l'on dispose de données concomitantes sur les variations de densité des eaux en fonction de la profondeur ainsi que sur les champs de vent locaux et éloignés. L'industrie recueille généralement, entre autres données, les mesures anémométriques des vents locaux. Cependant, ces mesures font rarement partie des programmes gouvernementaux, ne serait-ce que par l'installation sur la côte de stations météorologiques automatiques. Aucune des bases de données ne comprend à la fois les données météorologiques et celles des courants, bien que ces données existent et qu'il soit possible de les obtenir en s'adressant à différentes organismes tels que le Service de l'environnement atmosphérique.

Le manque de données enregistrées de façon systématique sur la conductivité et le profil de température des eaux en fonction de la profondeur, constitue également une importante lacune. Il en résulte généralement une absence de données détaillées sur la stratification des eaux pour les mesures effectuées à un moment et à un endroit donnés. Ce facteur limite énormément l'interprétation des observations sur les courants, en particulier celles portant sur les valeurs extrêmes des courants modifiés par le vent. Comme dans le cas des données sur les vents, les données concernant la stratification des eaux existent mais ne sont pas classées avec les données sur les courants. En conséquence, pour réaliser des études dynamiques des courants maximums il faut rassembler des données à partir de sources différentes, ce qui demande beaucoup de temps et se révèle décevant dans bien des cas en raison des différences de méthodes d'enregistrement et de conservation des données et dans la qualité inégale de ces données. Tel qu'il a été mentionné auparavant, il semble qu'aucun plan d'ensemble ou stratégie axé sur la compréhension des courants et la prévision des valeurs extrêmes des vitesses d'écoulement dues aux forces naturelles n'ait encore été adopté pour la collecte et la conservation des données. Cela vaut également pour les données sur les vagues. De plus en plus, l'attention des concepteurs et des exploitants d'installations offshore se porte sur la concomitance des valeurs extrêmes des vents, des vagues et des courants. Le cloisonnement observé actuellement dans la pratique canadienne concernant la mesure, le traitement et la conservation des données nécessaires aux analyses climatologiques ne facilite pas ce genre d'études.

■ **CONCLUSIONS** Sur le plan océanographique, on constate de nombreuses lacunes en ce qui concerne la collecte et la conservation des données destinées à un usage ultérieur, et ces lacunes ont une incidence directe sur la qualité de l'évaluation des courants dans la conception des structures. Les données dont on dispose ne permettent pas de dériver les valeurs extrêmes des courants avec la même précision qu'on peut généralement atteindre pour les vents et les vagues. Toutefois, les données actuelles, l'interprétation scientifique qui en est faite et les études réalisées par l'industrie pétrolière n'ont pas révélé de conditions insurmontables par la technologie de forage d'aujourd'hui, ni de conditions limitant la conception des installations sur l'ensemble de la côte est. De même, les opérations offshore de la dernière décennie ne révèlent aucun problème grave attribuable aux courants océaniques ou aux extrêmes de température. Les effets des vagues et de la présence de glaces constituent un problème beaucoup plus sérieux.

L'une des zones qui retient particulièrement l'attention est celle de l'embouchure du détroit d'Hudson où se manifestent de forts courants. Les problèmes opérationnels qu'on risque d'y rencontrer touchent l'amorce du sondage, la mani-

pulation de l'obturateur anti-éruption, la conception du tube prolongateur ainsi que le maintien de la position de l'installation de forage. Certaines données ont été recueillies pour cette région en 1979; de plus, les personnes concernées dans l'industrie connaissent les conditions qui sévissent à cet endroit. Pour assurer la sécurité des opérations de forage dans cette région, il faudrait plus de données que celles dont on dispose actuellement.

Comme les forages d'exploration se font dans des eaux de plus en plus profondes le long du plateau continental, on peut s'attendre à une incidence de plus en plus importante des courants sur les opérations. Flemish Pass est une région importante à cet égard car, en raison de la bathymétrie de l'endroit, le bras extérieur du courant du Labrador s'y trouve concentré en un écoulement puissant et continu. Il est évident qu'il y a possibilité de rencontrer en cet endroit des courants de structure verticale complexe résultant des courants de tempête combinés au courant permanent du Labrador. Ici encore, il faudrait plus de données enregistrées à différentes profondeurs.

L'évaluation de la performance et du maintien de la position en mer des installations nécessite que des analyses soient faites en fonction des pires conditions de contraintes que peuvent exercer ensemble sur les structures le vent, les vagues et les courants. D'une manière générale on a, jusqu'ici, réuni les valeurs extrêmes obtenues à partir d'analyses distinctes de différents types de données de provenance diverses. Au Canada, il semble qu'on ait recours à une méthode à peu près semblable pour la collecte et la conservation des données. Un des principaux obstacles à l'étude de l'action combinée de certains facteurs naturels est que les données dont on dispose proviennent de sources différentes, qu'elles présentent des lacunes et qu'elles sont de qualité inégale. Il serait souhaitable d'avoir accès à des études plus détaillées sur l'interaction des éléments atmosphériques et des océans sous l'influence de conditions extrêmes. Cette méthode permettrait de déterminer de façon plus rationnelle et réaliste les critères d'évaluation des installations et ce, pour les différents modes d'opérations (transit, survie ou forage).

Si, dans l'avenir, nous prévoyons intensifier les opérations de forage et par la suite de production, il semble logique de réorienter le processus de collecte des données océanographiques pour le rendre plus rationnel. Voici à cette fin, quelques éléments essentiels:

- Déterminer les techniques à adopter pour la prévision des valeurs extrêmes des courants, de même que les données nécessaires pour faire ces prévisions;
- Mettre sur pied des stations de surveillance stratégique à long terme qui fourniraient des mesures météorologiques, des données sur les vagues, les courants, ainsi que sur le profil des propriétés des eaux;
- Normaliser les instruments et les techniques de mesure;
- Réunir en un seul groupe les données pouvant servir à l'analyse dynamique des vents et des courants en combinaison avec les vagues formées par le vent.

Utilité des données disponibles sur les fonds marins dans l'élaboration des critères de conception des structures et des limites opérationnelles concernant le forage exploratoire au large de la côte est du Canada
Jacques, Whitfort & Associates,
Halifax, Nouvelle-Écosse,
janvier 1984

DONNÉES SUR LES FONDS MARINS

Bien que toutes les unités de forage exploratoire offshore en activité sur la côte est canadienne soient en interaction avec le fond marin par leur système d'ancrage et leurs dispositifs de raccordement au puits, cette interaction est beaucoup plus importante dans le cas des plates-formes auto-élévatrices dont le seul appui est constitué par le fond marin et les matériaux sous-jacents. Il y a deux sortes de fondations de plates-formes auto-élévatrices: les fondations à treillis sur semelles (trois ou quatre jambes reposant sur une base unique) et les socles (trois ou quatre pieds ou «caissons de support» servant chacun d'appui à un montant). Les installations auto-élévatrices à treillis sur semelles ont été conçues pour les régions où le fond marin est de sédimentation très friable, tandis que les structures reposant sur des montants individuels peuvent facilement être adaptés aux conditions des différentes régions. Environ 75 pour cent des plates-formes auto-élévatrices en usage aujourd'hui, de même que toutes celles qui ont été utilisées jusqu'à ce jour, font partie de cette dernière catégorie.

■ **DÉFAILLANCES DES FONDATIONS** Il est d'usage courant d'effectuer des essais de tenue des fondations pour vérifier l'efficacité des plates-formes auto-élévatrices. Pour ce faire, on ajoute du ballast de façon à entraîner une pénétration additionnelle des pieds jusqu'à un niveau où la capacité portante totale dépasse – par une marge acceptable de sécurité – la charge maximale prévue par les concepteurs. Pour la plupart des plates-formes auto-élévatrices à trois montants, cette opération consiste à pomper de l'eau de mer dans une série de réservoirs capables de maintenir approximativement la même charge sur chacun des montants pendant l'opération. Cette charge d'essai est généralement maintenue pendant une période minimale de deux à quatre heures après que la pénétration ou l'enfoncement de chacun des montants a cessé.

Le plus grave danger concernant les essais de tenue des fondations est la perforation du sous-sol. En certains endroits, le profil du sous-sol présente une couche de sol résistante recouvrant une couche plus faible. Si la capacité portante de la couche résistante est suffisante pour permettre l'élévation de la plate-forme, mais non pour supporter l'essai de tenue, il peut en résulter une perforation du sous-sol lorsqu'un des caissons de support (c'est généralement ce qui se produit) traverse la couche résistante et s'enfonce rapidement jusqu'à ce que le sol offre suffisamment de résistance pour l'arrêter. L'ampleur du mouvement vertical et de l'inclinaison qui en résulte dépend de la profondeur de la couche faible et de la hauteur de la coque de la plate-forme au-dessus de l'eau, puisque la charge exercée sur les montants diminue lorsque la coque se trouve immergée. Une fois le

processus de perforation enclenché, il y a peu de chance que l'on puisse exercer un contrôle quelconque, étant donné qu'il est impossible de retirer ou de réduire immédiatement la charge, bien que dans certains cas, une intervention rapide comme le blocage de la jambe qui s'enfoncé et l'élévation des autres puisse réduire les dégâts.

Plusieurs conditions géologiques peuvent donner lieu à des accidents de perforation du sous-sol. À l'heure actuelle, on ne dispose pas de suffisamment de données sur le fond marin pour pouvoir prédire ces conditions, mais il existe toutefois des méthodes reconnues qui permettent de déceler l'existence de telles conditions à un endroit donné.

D'autres circonstances relatives aux conditions du fond marin peuvent causer une défaillance dans les fondations des plates-formes auto-élévatrices. De nombreux problèmes de stabilité des structures sont dus à l'affouillement du fond marin. L'affouillement sous les montants réduit la profondeur d'encastrement et, par le fait même, la capacité portante de la structure. Les dépressions du fond marin, quelles soient naturelles comme dans le cas des cavités en forme d'entonnoir ou causées par l'installation d'une structure antérieure, peuvent causer certains problèmes pour les caissons de support des structures installées à proximité de ces dépressions.

Après que la plate-forme est arrivée à destination et que sa coque est élevée au-dessus de l'eau, ses fondations sont soumises à deux types de charges: les charges dues à la gravité et les charges ou contraintes dues aux facteurs environnementaux. Les charges de gravité correspondent au poids lège de la structure à laquelle s'ajoute une charge véritable; il est généralement possible de mesurer ces charges avec une marge de précision d'environ deux pour cent en maintenant un inventaire soigneux de l'équipement, des matériaux et des fournitures. Quant aux contraintes environnementales, elles sont la résultante d'une combinaison de facteurs tels que le vent, les vagues, les courants, le givrage des structures, et sont considérablement plus difficiles à évaluer avec un degré quelconque de précision. Les prévisions des charges environnementales reposent sur des données statistiques recueillies à l'égard de chacun des paramètres en cause pour un endroit donné.

Pendant une tempête, les forces de chavirement dues au vent et aux vagues peuvent augmenter la charge verticale exercée sur un montant de la structure jusqu'à concurrence de 35 à 50 pour cent de la charge de gravité. La charge exercée horizontalement sur les pieds de la structure pendant une tempête peut varier entre un dixième et un tiers de l'amplitude totale de la charge verticale. Dans certains cas, lors de tempêtes, il est arrivé que l'un ou plusieurs des pieds d'une structure se soient enfoncés de façon excessive sous le poids des charges alors supérieures aux valeurs qui avaient été prévues par les concepteurs des plates-formes pour les essais de tenue.

L'action des vagues, qui constitue en fait la charge environnementale la plus importante, peut représenter entre 55 et 65 pour cent de la charge latérale totale tandis que le vent correspond à une charge d'environ 25 à 35 pour cent. Les forces générées par un courant type d'une vitesse d'un noeud exercent une charge latérale d'environ 10 pour cent; cependant, en certains endroits, comme dans la baie de Fundy où les courants peuvent atteindre une vitesse de quatre noeuds, l'effet produit est alors beaucoup plus important.

Il y a deux causes principales aux problèmes de fondations des plates-formes auto-élévatrices qui peuvent entraver la sécurité des opérations: lorsqu'une installation est «inappropriée» à l'emplacement ou lorsqu'une erreur est commise en cours de transit ou au moment de l'installation de la plate-forme. Les rapports d'accident semblent indiquer que la plupart des accidents relatifs aux fondations sont attribuables à la première cause. En l'occurrence, on pourrait qualifier

«d'inappropriée» une installation dont les jambes ne seraient pas suffisamment longues ou dont la surface des pieds serait trop réduite pour éviter la perforation de la couche résistante d'appui. Pour bien choisir une installations en fonction d'un emplacement donné, l'exploitant doit avoir une connaissance approfondie des conditions du fond marin de l'endroit et de l'incidence possible de ces conditions sur le comportement de l'installation prévue. Les cartes de la surface du fond marin par région, ne fournissent pas suffisamment de détails à cette fin; il faut donc procéder à des relevés géotechniques propres à chaque emplacement.

Certaines méthodes analytiques courantes ont été adaptées à la prévision de la capacité portante des pieds d'une plate-forme auto-élevatrice dans différents types de sols. Il est possible, grâce à des données provenant de sondages ou de preuves géologiques, de déterminer les problèmes possibles d'affouillement et de les résoudre en plaçant autour des fondations des matériaux résistants à l'affouillement (généralement des sacs de sable, des écailles d'huîtres ou du gravier), ou par un procédé d'injection d'air et d'eau permettant une pénétration d'au moins cinq mètres sous le fond de la mer avant de procéder aux essais de tenue.

On estime que bon nombre d'accidents mettant en cause les fondations des structures proviennent d'erreurs techniques telles qu'une insuffisance des essais de tenue en mer, une fausse évaluation des charges de gravité ou des contraintes environnementales, une élévation excessive de la coque de la structure avant les essais de tenue ainsi qu'un mauvais équilibrage des charges sur les montants au moment de la préparation de l'installation à l'annonce d'une tempête. Il semble donc très important, pour le maintien des normes de sécurité, d'avoir recours à une meilleure instrumentation et à de meilleures techniques de prévision des charges, ainsi que d'apporter une attention particulière aux problèmes relatifs aux fondations dans les manuels d'exploitation.

■ *LES SYSTEMES D'ANCRAGE* Les systèmes d'ancrage caténaires actuellement utilisés par les unités de forage amarrées, consistent en une chaîne ou un câble métallique suffisamment longs et pesants pour demeurer tangents au fond de la mer même lorsque la ligne est tendue au maximum. La capacité de tenue est prédite à partir de relations empiriques entre le poids du dispositif et la nature du sol marin, l'expérience antérieure et des extrapolations à partir de tests à petite échelle. La méthode généralement utilisée pour vérifier la capacité de tenue, soit l'essai d'une tension statique à court terme et de traînée à une vitesse relativement grande, ne tient pas compte de la charge cyclique qui s'ajoute dans les conditions de tempête et, de ce fait, peut ne pas fournir de mesures réalistes. Quant à l'essai d'ancres lourdes, cette méthode est coûteuse et n'est pas pratique; elle pourrait être remplacée par des prévisions de capacité de tenue basées sur les principes de la mécanique des sols. Des travaux en ce sens sont en cours dans certains établissements.

■ *LES CONDUCTEURS DU PUIITS* Les tubes conducteurs et les cuvelages servent surtout au contrôle du puits pendant le forage et obéissent à des considérations davantage reliées au forage qu'aux conditions du fond marin. Il y a toutefois une certaine interaction entre ces éléments et les matériaux du fond marin, puisque c'est sur ces matériaux que les tubes conducteurs et les parties supérieures du cuvelage prennent appui.

Outre la charge de gravité provenant de leur propre poids, les conducteurs doivent pouvoir résister aux charges résultant de l'équipement de tête de puits comprenant les obturateurs anti-éruption ainsi que celles des tubes conducteurs, des vagues et des courants. Les charges sont généralement plus fortes dans le cas des unités flottantes de forage, car l'équipement de tête de puits repose sur le fond de la mer, tandis que dans le cas des plates-formes auto-élevatrices l'équipement est installé sur la structure.

Les forces de tension horizontales du sol offrent une résistance aux charges

latérales et de flexion exercées sur les conducteurs. Pour des fins d'analyse et de conception des structures, on peut avoir recours aux méthodes utilisées en mécanique des sols pour analyser l'action des charges latérales sur les piliers. La résistance du sol près du fond marin constitue un facteur important aux fins des analyses; c'est pourquoi il faut tenir compte des effets d'affouillement et de perturbation du sol sur cette résistance au cours de l'installation des conducteurs.

■ **CONCLUSIONS** Les données dont on dispose actuellement sur le fond marin au large de la côte est canadienne sont considérées comme un guide utile quant aux conditions probables en ces lieux, mais ne sont pas suffisantes pour permettre une évaluation de l'incidence de ces conditions sur la sécurité des opérations de forage. Une telle évaluation nécessiterait une connaissance détaillée et des données de techno-génie à la fois des caractéristiques géologiques d'un emplacement donné et de paramètres géotechniques tels que la résistance et la densité du sol.

Les études géologiques des plateaux continentaux portent principalement sur l'historique de la sédimentation et sur la répartition des matériaux constituant les sédiments dans ces régions. Ces études, bien qu'elles présentent par ailleurs une certaine utilité, ne fournissent pas les données nécessaires à la quantification des risques inhérents aux opérations de forage. Les levés géophysiques effectués au moyen de sonars latéraux et de profileurs acoustiques sont une constituante essentielle des recherches d'emplacements possibles de forage et sont exigés par le règlement de l'APGTC (Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada). Ces techniques de télé-détection fournissent des données à partir desquelles on doit déduire des renseignements sur les formations et les sédiments marins. Les levés géotechniques, qui ne sont pas exigés par la réglementation, comprennent des tests et des échantillonnages réels des sédiments marins à un endroit donné. De cette façon, on peut mesurer directement les propriétés physiques des sédiments plutôt que de les déduire. Grâce à des méthodes telles que le carottage par gravité, les sondages géotechniques ainsi que des tests faits sur place et en laboratoire, il est possible de déterminer avec une grande précision les propriétés stratigraphiques et géotechniques des sédiments du fond marin. La source de données la plus utile pour un endroit donné serait une étude intégrée des données géophysiques et des sondages géotechniques effectués à cet endroit. Cette combinaison de procédés permettrait de relier les conditions géotechniques aux profils acoustiques sur l'emplacement du sondage et d'obtenir ainsi des renseignements sur l'étendue et la profondeur des couches de sol ainsi que sur leurs propriétés physiques et ce, sur de grandes distances. Ces études sont encore plus efficaces si on les relie au cadre de travail géologique régional.

La réglementation actuelle pour l'ensemble des sites d'opération en mer sur la côte est du Canada n'exige pas que des levés géotechniques soient effectués sur les lieux où l'on se propose de forer. On ne peut donc être assuré d'obtenir les renseignements nécessaires pour quantifier les risques concernant l'interaction du fond de la mer et de la structure. Si l'on effectuait de tels levés géotechniques pour chaque emplacement de forage, il serait possible de recueillir les données nécessaires qui permettraient de minimiser les risques relatifs aux opérations d'exploration offshore.

Résumé du séminaire sur l'environnement

Après la rédaction des rapports provisoires sur les conditions environnementales (glaces, climatologie des vagues, prévision, climatologie, fond marin, océanographie), un séminaire sur ces questions a été organisé par la Commission royale. Parmi les participants se trouvaient les auteurs des études ainsi qu'un certain nombre de représentants des compagnies faisant partie de la Division des exploitants offshore de l'Association pétrolière du Canada (APC) choisies en consultation avec le comité de l'environnement de cet organisme.

Bien que les études aient porté tant sur les exigences de conception que d'exploitation, c'est surtout le dernier aspect qui a retenu l'attention des participants en raison de l'expérience et du rôle de l'APC. Les participants, au nombre de 46, comprenaient des personnes-ressources de l'Université *Memorial*, de l'Institut océanographique de Bedford et du gouvernement fédéral (APGTC). L'atelier a porté sur un certain nombre de sujets correspondant aux études présentées, chaque exposé étant précédé d'une courte présentation par l'auteur et suivi d'une discussion. La dernière séance s'est terminée par une table ronde pendant de laquelle chaque participant a pu présenter ses conclusions.

Le thème qui est ressorti des discussions est peut-être celui qu'ont avancé les représentants de l'industrie à savoir que les rapports présentés ne contenaient pas suffisamment de données provenant du secteur opérationnel et, comme le disait un des participants, «n'établissaient pas suffisamment la différence entre ce qui est scientifiquement souhaitable et ce qui est techniquement et pratiquement réalisable».

Bien que de l'avis général on ait reconnu la nécessité d'obtenir plus de données de base sur certains facteurs environnementaux, on a soulevé la nécessité que tout nouveau programme de collecte de données tienne compte à la fois des buts de l'industrie et de ceux de la communauté scientifique. Si le but d'ensemble est d'améliorer les systèmes actuels afin d'améliorer la sécurité des conditions de travail en mer, il y aurait peut-être lieu d'étudier séparément les recommandations générales des rapports, afin d'obtenir un plus grand nombre de données ou de données de meilleure qualité qui auraient une incidence directe sur la sécurité des conditions de travail. Tous ont reconnu la nécessité d'une meilleure diffusion des données en temps réel, en particulier en ce qui concerne les glaces, et sur l'avantage qu'il y aurait à améliorer les prévisions météorologiques. Cependant, à la même occasion, on a fait ressortir que, bien souvent, le problème résidait moins dans le manque de données appropriées que dans la mauvaise compréhension des besoins des utilisateurs de la part de ceux qui fournissent les données, du manque de communication efficace entre les deux parties ou encore du manque de temps ou de compétence des utilisateurs pour interpréter correctement les données qui leur sont fournies. L'amélioration de la formation du personnel travaillant sur les plates-formes au traitement des données environnementales, de même que l'amélioration des méthodes de collecte et de transmission automatiques de données, de sorte que le personnel clé puisse y consacrer le minimum de temps, devraient entraîner une meilleure utilisation des bases actuelles de données.

Dans le domaine de la recherche et du développement, les priorités reconues en termes de sécurité du travail touchent l'utilisation de l'équipement de sécurité et d'urgence dans les conditions météorologiques les plus difficiles, en particulier dans les conditions de givrage, et l'amélioration des techniques de détection des glaces. Il a également été question de la nécessité de différencier les données environnementales relatives au forage d'exploration de celles dont on a besoin pour la production.

Les représentants de l'industrie pétrolière ont encouragé la Commission royale à incorporer aux rapports les vues exposées au cours de l'atelier et, dans la mesure du possible, d'essayer d'obtenir plus de données du secteur opérationnel et des organismes de réglementation. Ils ont également recommandé que les rapports soient modifiés de façon à pouvoir faire état de la question de la sécurité dans l'industrie afin de fournir un exposé complet et équilibré des risques inhérents au travail en mer, ainsi que des efforts qui ont été déployés jusqu'ici par l'industrie pour fournir une base de données pour le champ Hibernia. D'autres participants ont fait une mise en garde contre toute complaisance et ont fait remarquer que, malgré l'excellent dossier de sécurité dans la région des Grands bancs, la majeure partie de cette région n'avait pas encore fait l'objet de tests et que l'on ne disposait toujours que d'une connaissance bien imparfaite des divers paramètres relatifs aux glaces dans cette région.

Certains représentants de l'industrie ont eu l'impression que, dans son rapport, *Newfoundland Oceans Research and Development Corp.* (NORDCO) a dramatisé outre mesure la situation concernant les données disponibles sur les glaces. À l'heure actuelle, la sécurité opérationnelle repose sur le principe consistant à éviter les glaces, ce qui est possible grâce à un programme contrôlé de détection, de surveillance et lorsque cela est possible, de déviation des glaces. Cette stratégie de gestion tient compte des incertitudes des présentes bases de données environnementales. Malgré la conclusion générale à laquelle les représentants de l'industrie sont arrivés, à savoir que les données actuelles sur les glaces étaient suffisantes pour assurer la sécurité des travailleurs, ils ont fait plusieurs recommandations visant à améliorer la situation en ce domaine. Selon eux, les organismes de réglementation devraient exiger que ceux qui sont concernés par les opérations offshore transmettent leurs données en temps réel à un seul centre et que ces données soient recueillies, analysées et retransmises aux usagers. On a également proposé l'amélioration du système de détection des glaces ainsi que la mise sur pied à ce sujet d'un programme parrainé par le gouvernement. Par la suite, les discussions ont porté sur la responsabilité de la détection des glaces, au niveau régional et sur les emplacements de forage. On a insisté sur les programmes coopératifs actuels de l'industrie pétrolière dans le domaine de la détection des glaces et de la gestion, ainsi que sur les travaux de recherche en ce domaine subventionnés par l'industrie par l'intermédiaire du Fonds renouvelable sur les études environnementales (FREE).

Les représentants de plusieurs organismes de recherche ont fait part des derniers développements dans le domaine des glaces et ont souligné certains points méritant réflexion. Par exemple, on fait remarquer qu'il était difficile de déceler les petites glaces se déplaçant à grande vitesse et que ces dernières constituaient réellement un risque pour la sécurité humaine. Les représentants de l'industrie ont remis en question cette affirmation et ont de nouveau insisté sur le fait que la sécurité était respectée ainsi que sur les programmes parrainés par l'industrie, en vue de mettre au point des radars plus efficaces et sur ceux du FREE visant à améliorer les techniques de remorquage et de manipulation des glaces.

Les participants ont examiné le rapport du Service de l'environnement atmosphérique (SEA) sur la climatologie et ont ainsi été mis au courant des derniers développements dans le domaine de la recherche climatologique. Les représentants de l'industrie pétrolière ont souligné que les besoins en données sur la climatologie marine étaient beaucoup plus difficiles à satisfaire sur le plan scientifique que sur le plan opérationnel. On a également souligné que le rapport

ne faisait pas état de la grande quantité de données climatologiques recueillies par l'industrie, soit sur une base individuelle ou en collaboration. Des représentants du SEA se sont montrés d'accord avec la nécessité d'insister plus sur les besoins des usagers et que le principal besoin reconnu semblait être l'obtention de données sur les valeurs extrêmes ou dites «centenaires». À leur avis, pour ce qui est de cette dernière application, les données actuelles pour les régions au large de la côte est du Canada ne sont pas suffisantes.

Le rapport sur le fond de mer, présenté par Jacques, Whitford and Associates, fait état des conditions du fond marin pouvant entraîner des accidents de plates-formes auto-élévatrices, en particulier des accidents de perforation du sous-sol. Il est ressorti des discussions qu'il y avait des risques que de tels accidents puissent arriver dans la région des Grands bancs, bien qu'aucun accident de ce genre ne se soit produit à ce jour. Un long débat a suivi sur la nécessité d'exiger par règlements que des études géotechniques particulières à un emplacement, y compris des programmes de sondage, soient faites. L'auteur a soutenu que les études sismiques pouvaient tout au plus déboucher sur des hypothèses sur les propriétés géotechniques. C'est donc à bon droit que les ingénieurs ont recours à des programmes de sondage pour déterminer à partir de preuves tangibles s'ils sont en présence de conditions pouvant entraîner la perforation du sol en un endroit donné avant d'y installer une plate-forme auto-élévatrice. On a ensuite discuté des problèmes d'affouillement et d'ancrage, et un porte-parole de l'industrie a conclu que les affirmations les plus pessimistes du rapport n'étaient pas prouvées et que, selon lui, compte tenu du dossier actuel des plates-formes auto-élévatrices sur le plan de la sécurité, les données sur le fond marin et les techniques en usage étaient tout à fait satisfaisantes.

La conclusion générale de l'étude sur la climatologie des vagues réalisée par le Service des données sur le milieu marin et W.F. Baird Associates est que la base de données actuelle est pauvre, en particulier dans les secteurs du nord de la zone étudiée et qu'il serait souhaitable d'améliorer les techniques de collecte de données et de prévisions. La plupart des discussions ont été consacrées à la clarification de certains points techniques du rapport. Les représentants de l'industrie ont de nouveau manifesté leur insatisfaction devant l'absence de relation directe entre les recommandations du rapport et les considérations de sécurité opérationnelle, et ont insisté sur le fait que la précision des données était, à bien des égards, moins importante que la définition précise des besoins des usagers. On a également souligné que la plupart des données pouvaient être importantes pour les concepteurs. Cependant, comme on dispose déjà d'installations en usage sur la côte est du Canada, il aurait mieux valu étudier l'efficacité et le rendement de ces installations. Les auteurs du rapport ont répondu qu'il n'y avait pas suffisamment de données déjà publiées pour pouvoir établir un lien entre les données sur les vagues et les exigences opérationnelles.

Le rapport sur l'océanographie présenté par Seaconsult a été accueilli favorablement par les représentants de l'industrie et a reçu l'appui général pour ses conclusions voulant que les données océanographiques disponibles soient suffisantes selon les critères retenus pour la conception des installations et la sécurité des opérations offshore. Les discussions ont ensuite porté sur la question de la conservation des données et sur le temps qu'il faut compter avant que ces données ne soient accessibles; on a, de plus, appuyé la proposition concernant la normalisation des procédés. Les représentants de l'industrie ont souligné que de nombreux programmes de collecte de données avaient été réalisés par les compa-

gnies pétrolières, conjointement ou individuellement, et que ces études n'étaient pas mentionnées dans le rapport comme sources de données.

Le rapport sur les prévisions météorologiques a été préparé par Seaconsult Ltd. Des représentants du Service de l'environnement atmosphérique ont fait le point sur les méthodes de vérification utilisées par cet organisme. De plus, un porte-parole de l'APGTC a ajouté que cet organisme était à réviser les besoins en matière de vérification pour des entreprises privées de prévision. Les représentants du SEA ont présenté un rapport sur les résultats préliminaires de la vérification de l'exactitude des prévisions pour la région des Grands bancs en hiver, et ont fait remarquer que les données obtenues par les spécialistes du SEA, quant à la vitesse du vent selon l'échelle de Beaufort, n'avaient été prédites avec précision que dans 37 pour cent des cas pour une durée allant jusqu'à six heures. Les représentants de l'industrie ont insisté sur l'importance de procédés de vérification simples et normalisés et se sont interrogés sur la nécessité que le contenu des prévisions soit plus étoffé, tel qu'il a été recommandé dans le rapport. Les représentants de Seaconsult ont expliqué que l'inquiétude manifestée dans le rapport à l'égard des phénomènes d'ampleur moyenne, visait l'amélioration de la technologie de la prévision en général et non les prévisions dans le domaine de l'offshore, en particulier où la manifestation de ces phénomènes n'est pas suffisamment prolongée pour causer des problèmes. Les participants se sont entendus sur l'utilité d'appliquer les conclusions du rapport aux opérations en mer et la Commission royale a déclaré que la compagnie Seaconsult préparerait un rapport supplémentaire en collaboration avec les exploitants et les organismes de réglementation, afin de relier directement les conclusions du premier rapport aux besoins des usagers.
