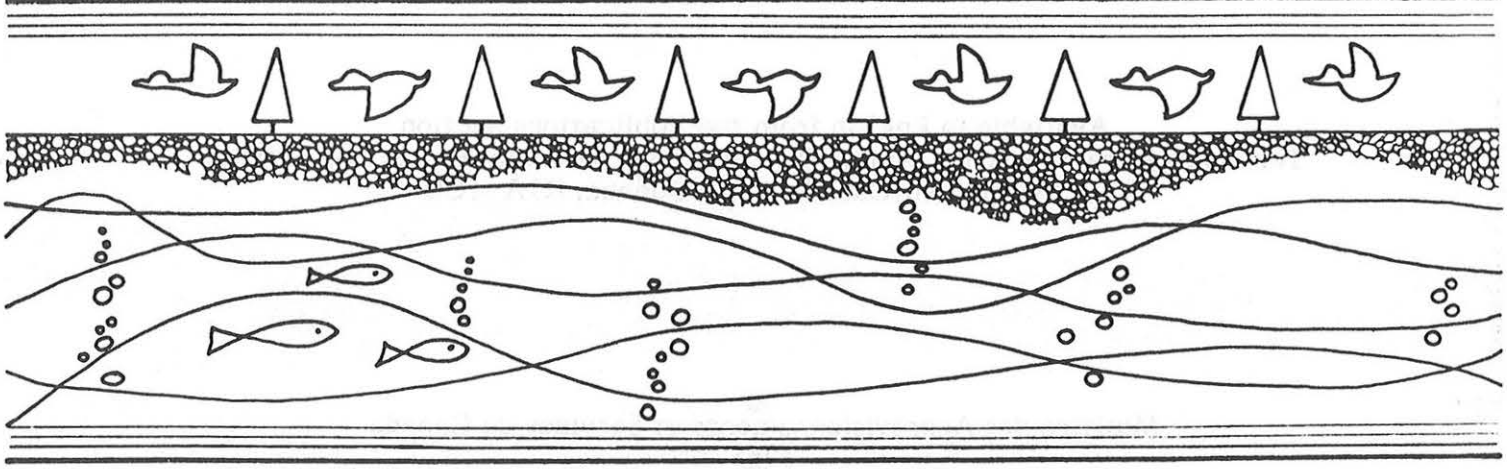
Environment Canada Environnement Canada
0028022H S
BULLETIN DE LA LUTTE CONTRE LES DEVERSEMENTS
1 0 JUIN 1986

Bulletin de la lutte contre les déversements

Bulletin bimestriel de liaison, à caractère non officiel, publié par la Direction des services techniques, du Service de la protection de l'environnement, Ottawa (Canada)

ENVIRONNEMENT CANADA
BIBLIOTHÈQUE
RÉGION DE QUÉBEC

Vol. X, nos 4-6 ISSN 0381-4459 Juillet-décembre 1985



Bulletin de la lutte contre les déversements (juillet-décembre 1985)

Rédacteurs techniques: M.F. Fingas et K.M. Meikle
Téléphone: (613) 998-9622

Coordonnateur de l'édition anglaise: Michel Cloutier
Téléphone: (819) 997-3405

Édition française: Module d'édition française
Téléphone: (514) 283-2760

Le *Bulletin de la lutte contre les déversements* est une publication de la Division des techniques d'intervention d'urgence, Direction du développement de la technologie et des services techniques, Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement, Ottawa (Ontario), K1A 1C8; téléphone: (613) 998-9622.

Le Bulletin a été créé en 1976 dans le but de permettre un échange d'information sur la lutte contre les déversements d'hydrocarbures et autres sujets connexes. Malgré son caractère modeste, le Bulletin a suscité un tel intérêt qu'il compte déjà plus de 2000 abonnés au Canada et à l'étranger. Afin d'élargir les horizons du Bulletin et de mieux faire connaître l'action de l'industrie et celle des pays étrangers dans le domaine qui nous intéresse, la rédaction encourage les lecteurs à soumettre des articles traitant de leurs travaux et opinions.

SOMMAIRE

Introduction 1

Rapport de mi-année sur les travaux de mise au point de techniques d'intervention d'urgence 2

L'efficacité des dispersants dans le cas de déversements d'hydrocarbures 9

Available in English from the Publications Section
Technology Transfer and Training Division, Environmental Protection Service
Environment Canada, Hull, Québec, K1A 1C8

©
Ministre des Approvisionnements et Services du Canada
1985

INTRODUCTION

Le premier article du présent numéro, rédigé par Ken Meikle, est un rapport de mi-année concernant les travaux de recherche d'Environnement Canada sur les techniques de lutte en cas de déversement, au cours de l'exercice financier compris entre avril 1985 et mars 1986. Dans le second article, Merv Fingas fait le point sur l'efficacité des dispersants d'hydrocarbures évaluée par des essais en laboratoire et des essais sur le terrain.

Le lecteur aura sans doute remarqué que le présent numéro couvre les mois de juillet à décembre 1985. Encore une fois, le Bulletin n'a pu paraître régulièrement et ce, pour différentes raison. Toutefois, selon le nouveau calendrier établi, quatre numéros paraîtront l'an prochain, si bien que le Bulletin deviendra une publication trimestrielle. Nous espérons que cette modification permettra de résoudre les problèmes auxquels nous avons fait face et nous vous invitons à soumettre des articles.

RAPPORT DE MI-ANNÉE SUR LES TRAVAUX DE MISE AU POINT DE TECHNIQUES D'INTERVENTION D'URGENCE

K.M. Meikle
Division des techniques d'intervention d'urgence
Service de la protection de l'environnement
Hull (Québec)

Introduction

Des crédits de 1 290 000 $ ont été accordés à la Division des techniques d'intervention d'urgence (DTIU) pour l'année commençant le 1er avril 1985, afin qu'elle poursuive ses deux programmes complémentaires de développement de techniques de lutte contre les déversements: le Programme sur les déversements d'hydrocarbures en milieu marin arctique (AMOP) (600 000 $) et le Programme d'urgence contre les dangers chimiques (CHEC) (690 000 $). En outre, la DTIU a pris en charge les aspects techniques de plusieurs travaux de recherche sur la lutte contre les déversements d'hydrocarbures, qui nécessitent des crédits supplémentaires de 1 132 000 $ fournis par d'autres ministères ou par le Fonds renouvelable d'études environnementales (FRÉE).

Les deux programmes comprennent 53 travaux de recherche, décrits en détail ci-après. En outre, le 8e Séminaire technique annuel du programme AMOP a eu lieu à Edmonton (141 personnes y ont participé et 10 exposants y ont fait la promotion de produits et de services reliés à la lutte contre les déversements d'hydrocarbures). Le point d'écoulement du brut de Bent Horn a été mesuré dans le cadre de travaux effectués par le gouvernement et la société Panarctic en vue d'élaborer un plan d'intervention d'urgence acceptable aux deux parties concernant l'exploitation de gisements dans l'île Cameron. Enfin, les organisateurs du 3e Séminaire technique annuel sur les déversements de substances chimiques, qui se tiendra du 5 au 7 février 1986 à Montréal (Québec), ont lancé un appel pour présentation de mémoires.

Programme AMOP: études techniques

1) Évaluation de techniques de dépollution dans le bassin OHMSETT. - Pour la cinquième année consécutive, la DTIU participe au financement, à raison de 20 000 $, de l'évaluation de techniques de dépollution des eaux touchées par un déversement d'hydrocarbures, dans le bassin OHMSETT, au New Jersey. Deux réunions du comité technique inter-organismes de l'OHMSETT ont eu lieu: 1) pour poursuivre la planification de la troisième d'une série d'essais de barrages antipollution en vue d'élaborer un protocole d'expérimentation adéquat pour l'évaluation de ces dispositifs en haute mer; 2) pour planifier d'autres essais qui auront lieu pendant l'hiver afin d'évaluer l'efficacité de la combustion sur place pour dépolluer des eaux englacées.

2) Études sur la dépollution financées à partir du FRÉE. - Trois des quatre études en question ont été entreprises en 1984: deux portent sur la récupération du pétrole parmi les glaces flottantes; l'autre, sur le nettoyage d'une plage mazoutée. La société Arctec Canada a fait l'essai en bassin d'un dispositif à déversoir abrité et monté sur une proue de navire, dispositif destiné à servir dans la glace fragmentée; le rapport définitif de l'étude a été approuvé après que les modifications proposées par les réviseurs techniques eurent été apportées. La société S.L. Ross Environmental Research a fait l'essai en bassin de deux dispositifs destinés à la dépollution dans les eaux recouvertes de brash et de glace en

décomposition (un plan incliné et un tambour rotatif perforés); le rapport définitif de l'étude soumis aux réviseurs techniques désignés. Bennett Environmental Consultants Ltd. a testé avec succès un dispositif mobile utilisé pour la combustion sur place d'hydrocarbures échoués. Esso Ressources Ltée effectuera la quatrième étude dans son bassin de Calgary, cet hiver, afin de déterminer l'efficacité de la combustion sur place du pétrole dans des chenaux selon la géométrie et l'orientation de ceux-ci, les caractéristiques du pétrole et les conditions éoliennes. La planification des expériences est terminée: celles-ci devraient avoir lieu en janvier et en février 1986.

3) Barrages à jet d'eau sous haute pression. - Les flotteurs du barrage expérimental ont été remplacés par d'autres, conçus pour réduire la résistance, et le barrage a été mis à l'essai: une fois en présence de pétrole près de Lethbridge (Alberta); et deux fois dans le Saint-Laurent, où il a résisté à des courants atteignant 2 noeuds. Au titre d'un contrat, la société Arctec Canada exécutera une série d'essais dans son bassin de Kanata afin de déterminer la combinaison optimale de la pression et du débit de l'eau et de la forme et de l'espacement des jets de manière à pouvoir mettre au point une pompe de dimensions minimales pour un barrage opérationnel comparable.

4) Récupération du pétrole provenant de réservoirs souterrains. - La rédaction d'un rapport provisoire portant sur les techniques de récupération du pétrole s'échappant de réservoirs enfouis est presque terminée.

5) Brûleur aux ultrasons. - On a fait l'essai, avec du pétrole brut d'Hibernia d'un prototype expérimental de brûleur aux ultrasons consistant en une cheminée de 2,4 m de hauteur, montée sur une plate-forme catamaran équipée de transducteurs aux ultrasons orientés vers le haut et immergés entre les deux coques. Les ondes sonores atomisent le pétrole qui flotte à la surface de l'eau en un nuage de fines gouttelettes dont la combustion est assurée par une veilleuse au propane. On a pu réaliser des combustions sans fumée au cours des expériences. Le dispositif, qui se trouve au Centre environnemental de River Road, sera pourvu de transducteurs améliorés, dont certains permettront de diriger le pétrole vers la zone d'atomisation. Dans le cadre du programme d'essais de l'OHMSETT, il devrait être éprouvé en eaux agitées au début de 1986.

6) Mélange de pétrole et de dispersant dans des réservoirs. - Au cours d'essais en petit effectués au MIT l'an dernier, on a établi la faisabilité du système conçu par le professeur Milgram pour mélanger, au moyen d'un gaz inerte, du dispersant avec les hydrocarbures fuyant d'une citerne de pétrolier. Le pétrole et le dispersant étaient simulés par de l'eau et un colorant. Les responsables des travaux procèdent actuellement à des essais en grandeur identique avec du pétrole et un dispersant et ils ont consulté l'industrie pour déterminer où pourraient être réalisés des essais en vraie grandeur.

7) Allumage de nappes de pétrole par faisceau laser. - Un appel d'offres a été lancé pour l'exécution d'une étude de faisabilité visant à déterminer si le système laser, qui peut allumer des nappes de pétrole dans des conditions printanières types en milieu arctique, peut être installé en toute sécurité dans un hélicoptère et, le cas échéant, si les exigences relatives à la visée et à la mise au point du faisceau et à d'autres paramètres techniques peuvent être respectées. Le budget courant prévoit des fonds pour l'assemblage du matériel nécessaire à un programme d'essais si les résultats de l'étude de faisabilité sont positifs.

8) Manuel des méthodes de restauration des berges du Saint-Laurent. - Des fonds ont été transférés à la Région du Québec du Service de la protection de l'environnement (SPE)

et un contrat a été accordé pour compléter le manuel produit l'an dernier de manière à informer les autorités riveraines des techniques d'intervention appropriées à différents types de rivages en cas de déversements d'hydrocarbures dans leur secteur.

Programme AMOP: études des effets des déversements de pétrole

1) Programme BIOS. - Plusieurs activités sont en cours en vue d'achever le Programme de déversements de pétrole à l'île Baffin. Un résumé a été envoyé à la direction des organismes de financement intéressés et un autre, destiné aux Inuit, est actuellement traduit en inuktitut. La moitié des vingt rapports scientifiques portant sur les différents éléments du programme ont été reçus dans leur version provisoire, et les autres doivent être remis avant le 15 octobre 1985. Ainsi, l'ensemble des rapports pourra être publié dans une édition spéciale du journal *Arctic* en 1986. L'Association pétrolière du Canada a accepté d'assumer la moitié des frais de production d'un rapport succinct de grande qualité, qui transmettra les résultats du programme au grand public au printemps de 1986. Enfin, le SPE a effectué en août 1985 d'autres relevés du pétrole échoué; il a ainsi respecté son engagement de poursuivre des travaux supplémentaires sur les lieux de l'étude. En même temps, le FRÉE a permis la collecte d'échantillons de benthos au large de la baie 11, où le pétrole échoué poursuit sa lente invasion dans le milieu aquatique. Des rapports sur ces deux activités sont en voie de rédaction.

2) Cold Climate Marine Oilspill Review: Biological Effects. - La version provisoire initiale du rapport, produite l'an dernier, a été modifiée pour tenir compte des commentaires des réviseurs techniques et elle sera publiée sous forme de rapport manuscrit dans la série EE. Une première ébauche de vulgarisation du rapport est terminée; elle est actuellement révisée et complétée en fonction des commentaires formulés par le personnel régional du SPE.

3) Interventions d'urgence sur les rives à faible énergie. - Le rapport de l'entrepreneur sur les travaux effectués l'an dernier pour cerner les lacunes dans la connaissance des rives à faible énergie paraîtra sous peu dans la série EE. Un autre manuscrit (EE-63) a été publié: il s'agit du rapport du Dr Owens sur l'analyse d'échantillons de pavages prélevés sur des plages de France, sept ans après l'accident de l'*Amoco Cadiz*. Deux programmmes conjoints ont été lancés par le ministère de l'Environnement et le ministère des Pêches et des Océans (Institut océanographique de Bedford). L'un vise à déterminer la possibilité d'utiliser la chromatographie liquide haute performance pour l'analyse de résidus de goudron; l'autre est une étude complémentaire du marais salant de Miguasha (Québec), pollué par du pétrole il y a 10 ans. Les deux études sont en cours et le Dr Vandermeulen a terminé les travaux de terrain de la seconde étude.

4) Toxicité du pétrole. - Au titre d'un contrat, la société Harris Testing a effectué des essais comparables à ceux qui sont réalisés dans de petits bassins au cap Hatt, dans le cadre du programme BIOS. La réaction d'espèces atlantiques similaires aux mêmes teneurs en pétrole sera observée et comparée aux résultats obtenus au cap Hatt.

Programme AMOP: études des propriétés et du comportement du pétrole

1) Désémulsionnants. - Une étude de deux ans commandée l'an dernier à la société S.L. Ross Environmental Research, et fondée sur une proposition visant à déterminer la

possibilité de promouvoir la dispersion naturelle des hydrocarbures en empêchant la formation de mousse, a produit des résultats très encourageants. En effet, un agent de traitement vendu dans un commerce a été soumis à des essais en laboratoire et s'est révélé efficace à des rations désémulsionnant-hydrocarbures de 1:10 000 seulement. Cet agent est hydrophobe et oléophile et des effets sont similaires à ceux des dispersants. Les essais finals en bassin sont en cours.

2) Études financées à partir du FRÉE. - Les trois études en cours ont été entreprises avant le début de la période dont traite le présent rapport. L'une vise à mettre au point un télédétecteur simple utilisant une caméra IR-UV Barra and Stroud; le prototype a été testé à deux reprises pendant des vols au-dessus de points de déversements et l'entrepreneur, Esso Ressources du Canada, rédige actuellement le rapport définitif. Les deux autres études, commandées à la société S.L. Ross Environmental Research, visent à évaluer l'efficacité de dispersants par des essais en grandeur moyenne en bassin. La première permettra de déterminer l'influence des variations de la pression et du débit de l'eau et de la hauteur des jets sur la façon dont des jets d'eau sous haute pression permettent de mélanger des dispersants avec des hydrocarbures; les travaux sont terminés et les responsables du FRÉE publieront un rapport. La seconde, qui devrait se terminer cette année, a pour objet de mesurer l'efficacité de dispersants et de comparer les résultats avec ceux qui ont été obtenus avec des appareils de laboratoire et sur le terrain.

3) Études du PRDÉ. - La DTIU fournit un soutien et des conseils techniques à d'autres intervenants dans deux études financées par le Programme de recherche et de développement énergétiques (PRDÉ) du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. La première consiste en la mise au point d'un détecteur OILSPILS comparable au GASPILS de ce ministère; la modification du prototype semble avoir réglé les problèmes découverts par la DTIU pendant les essais effectués l'an dernier au Centre environnemental de River Road et des variantes d'un détecteur destiné à être commercialisé sont évaluées à l'usine de l'entrepreneur. La seconde étude, qui durera plusieurs années, est menée par le Centre canadien de télédétection dans le but de mettre au point un nouveau fluorodétecteur à laser destiné à repérer les hydrocarbures déversés.

4) Mesures sur le terrain. - Les modalités d'une étude ont été élaborées et un appel d'offres a été lancé en vue de déterminer l'évolution et le comportement d'hydrocarbures déversés à un endroit approprié, en respectant un protocole déjà établi (EE-55). La DTIU a installé un fluoromètre Turner dans un véhicule remorqué fabriqué par Fathom Oceanology et l'a relié à un ordinateur. L'instrument, utilisé pendant un relevé du port de Vancouver, a détecté la présence de pétrole dans la colonne d'eau à des teneurs variant entre 150 et 900 ppb, par rapport à une teneur de fond d'environ 70 ppb. Un rapport décrivant la construction et l'utilisation du système est en voie de rédaction.

5) Essais de dispersants. - En vertu d'un contrat accordé à la société Harris Testing par l'intermédiaire de la Région atlantique du SPE, quatre nouveaux dispersants ont été mis à l'essai; un des essais avait été commandé par Surechem Industries d'Australie. M. Fingas a emporté un fluoromètre Turner standard en France en septembre et il a participé aux essais de dispersants au large de Brest, dans le cadre de l'opération Protecmar 85. Il a également fait partie du comité de planification d'un essai d'application aérienne de dispersants qui devait avoir lieu dans le sud de la mer de Beaufort entre la fin août et le début de septembre; toutefois, le déglacement ne s'étant pas produit aussitôt que prévu, l'opération a été reportée en 1986. Le SPE a accepté de partager le coût d'une étude de 18 mois sur l'efficacité des dispersants, organisée par un comité du Marine Board (National Research Council) des États-Unis. M. Fingas, qui est l'agent de liaison avec le

Canada et l'étranger pour ce comité, rédigera deux des chapitres du rapport tandis que le Dr P. Wells rédigera un chapitre sur la toxicité. Enfin, l'université de Toronto s'est vu accorder un contrat pour poursuivre les travaux sur l'efficacité des dispersants.

6) Détection du pétrole sous la glace. - Une étude conjointe en deux parties, menée avec Esso Ressources Canada Ltée, en est à sa cinquième année. Technical University de la Nouvelle-Écosse réduit les dimensions d'un prototype éprouvé de détecteur acoustique et l'université Western Ontario poursuit l'utilisation de fréquences radio pour la détection du pétrole sous la glace.

7) Étude du comportement du pétrole en période de gel. - Les activités de la première année d'une étude d'une durée prévue de trois ans ont été financées par le Programme du pétrole et du gaz du Nord (BPGN) du ministère des Affaires indiennes et du Nord. Un contrat a été accordé à la société DMER, de Toronto, pour étudier le comportement du pétrole qui flotte sur l'eau en période de gel.

Programme CHEC: études techniques

1) Récupération de substances chimiques au fond de l'eau. - Par l'intermédiaire de la Région du Pacifique du SPE, la DTIU a commandé un rapport sur les techniques de récupération des substances qui se déposent au fond de l'eau après un déversement. Des conseils techniques fondés sur ce rapport ont été fournis à la Région de l'Ontario du SPE pour la récupération du perchloréthylène déversé par Dow Chemical dans une rivière à Sarnia (Ontario).

2) Application de l'osmose inverse. - Le SPE a prêté son unité mobile au gouvernement de l'Ontario qui s'en est servi pendant une période de 50 jours afin d'expérimenter le procédé de l'osmose inverse pour récupérer du sel de voirie ayant migré dans des poches souterraines formées sous des dépôts désaffectés. L'expérience a permis de récupérer 97 p. 100 du sel dont la teneur correspondait à un rapport de 6:1. Auparavant, l'unité mobile avait été prêtée à la municipalité de Saint-Roch-de-l'Achigan (Québec) pour une journée afin de servir à rendre potable l'eau d'une nappe souterraine à forte teneur en minéraux. Un chimiste de la DTIU a prêté son concours dans les deux cas. Ces activités procèdent d'un effort soutenu visant à évaluer le potentiel de l'osmose inverse comme moyen de dépollution. Dans ce même but, l'unité mobile a également été prêtée: 1) aux autorités des chemins de fer du CN à Melville (Saskatchewan) pour l'évaluation de l'osmose inverse comme moyen d'épurer des eaux de lavage de réservoirs, polluées par des substances chimiques; 2) à Dow Chemical, à Fort Saskatchewan (Alberta), pour la récupération de matières organiques dans de l'eau de procédé; 3) aux régions de l'Ouest et du Nord du SPE et à la municipalité d'Edmonton pour la récupération de pesticides polluant de l'eau utilisée pour le lavage de conteneurs. Les résultats de l'expérience réalisée par Dow Chemical sont protégés par des droits de propriété; dans le cas des deux autres expériences, l'efficacité du procédé de l'osmose inverse a été respectivement de 97 et de 99,9 p. 100.

En vue d'achever les travaux prévus à ce chapitre pour la présente année, le SPE a utilisé son unité mobile (aidée par le laboratoire intégré de la DTIU) pour concentrer un percolat dans la décharge de Gloucester (Ontario). Ces travaux font partie d'une étude menée en commun avec le Centre technique des eaux usées de Burlington afin de mettre au point une unité mobile d'osmose inverse et d'absorption chimique, en vertu d'un contrat accordé à Zenon Environmental par suite d'une proposition non sollicitée. Cette étude se poursuivra pendant plusieurs mois au cours du prochain exercice financier.

Programme CHEC: études des propriétés et du comportement des corps

1) Système d'analyse sur le terrain. - On modifie actuellement le système portatif mis au point par la DTIU, qui consiste en un matériel HNU et OVA transformé, de manière qu'il puisse détecter 20 substances chimiques de plus, soit à peu près 60 au total, dans l'eau et le sol. Un cours de formation est élaboré à l'intention du personnel régional du SPE qui recevra les appareils pendant l'année. Les ouvrages de référence afférents au prototype de système mobile informatisé de la DTIU, qui portaient initialement sur 10 substances chimiques, seront étendus à 35 substances. Un véhicule a été commandé et un entrepreneur a été choisi pour l'installation du système.

2) Collection "Enviroguide". - Des crédits ont été débloqués pour l'impression des 24 derniers guides de la collection, qui en comptera 51. La rédaction d'un guide sur les BPC a été entreprise. Un groupe consultatif formé de représentants de l'industrie, du gouvernement et des universités qui ont étudié le problème des BPC a été créé pour élaborer les modalités et choisir un entrepreneur. Le groupe a rencontré ce dernier pour s'entendre sur les tâches à accomplir. Les travaux, qui ont déjà commencé, devraient être terminés à la fin de 1986.

3) Principes fondamentaux du nettoyage après un déversement de produit chimique. - Les activités prévues pour cette année comprennent la rédaction d'une première version d'un manuel semblable aux *Principes fondamentaux du nettoyage des déversements d'hydrocarbures* publiés en 1979. Le début des travaux a été reporté en raison de tâches prioritaires, mais les grandes lignes du contenu de l'ouvrage devraient tout de même être soumises aux bureaux régionaux d'ici à la fin de mars 1986 pour que ces derniers puissent formuler leurs commentaires.

4) Évaluation de procédés de traitement. - On a relevé un certain nombre de procédés de traitement d'un rendement douteux pendant la rédaction des Enviroguides et des ouvrages intitulés *Guide pour les déversements de produits dangereux* et *Survey of Chemical Spill Countermeasures*. Un contrat a été accordé à la société Hatfield Consultants de Vancouver pour l'évaluation des procédés de traitement *in situ* de substances chimiques répandues dans l'eau.

5) Guide pour les déversements de produits dangereux. - Un entrepreneur a été choisi pour la collection de données visant à la publication, en 1987, d'une édition augmentée de cet ouvrage très populaire du SPE.

6) Études supplémentaires sur les lieux d'un déversement. - La société MacLaren Atlantic a effectué des études supplémentaires sur les lieux d'un déversement d'acide sulfurique qui était survenu il y a plusieurs années et qui avait été suivi d'un nettoyage, à Athol (Nouvelle-Écosse). Elle a été chargée d'étudier le sol et la végétation dans la zone touchée et de produire un rapport, d'ici à mars 1986, sur les effets à long terme du polluant.

7) Étalement et évaporation des substances chimiques. - On a mis en doute l'hypothèse généralement acceptée selon laquelle des substances chimiques déversées sur le sol s'étalent à la même vitesse que le pétrole sur l'eau. Deux contrats complémentaires ont été accordés respectivement à l'université de Toronto et à S.L. Ross Environmental Research pour déterminer les vitesses d'étalement et d'évaporation de certaines substances chimiques sur la neige et la glace d'une part, sur l'argile et des surfaces herbeuses, d'autre part.

8) Tests de toxicité. - La société Harris Testing s'est vu accorder un contrat pour évaluer la toxicité à court terme de certaines substances chimiques à des teneurs représentatives de celles des milieux victimes de déversements, en suivant un protocole d'expérimentation établi l'an dernier pour la DTIU.

Conclusion

Les résultats des travaux effectués cette année dans le cadre des programmes AMOP et CHEC seront communiqués respectivement au cours du 9e Séminaire technique annuel de l'AMOP, qui aura lieu du 10 au 12 juin 1986 à Edmonton (Alberta) et du 4e Séminaire technique annuel sur les déversements de substances chimiques, qui se tiendra à Toronto (Ontario) en février 1987. Entre-temps, on peut obtenir des personnes suivantes des renseignements supplémentaires sur les travaux résumés dans le présent article:

Domaine	Personne-ressource	Adresse
Études techniques Études des propriétés et du comportement des corps	H. Whittaker M. Fingas	Centre environnemental de River Road Ottawa (Ontario) K1A 1C8 Tél.: (613) 998-9622 Télex: 053-3510
Études des effets des déversements	G. Sergy	Service de la protection de l'environnement Division des techniques d'intervention d'urgence Bureau régional Twin Atria no 2, 2e étage 4999 - 98e avenue Edmonton (Alberta) T6B 2X3 Tél.: (403) 468-8039 Télex: 037-3699

L'EFFICACITÉ DES DISPERSANTS DANS LE CAS DE DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

Merv Fingas
Service de la protection de l'environnement
Hull (Québec)

Introduction

Les dispersants sont des mélanges de substances chimiques qui rendent le pétrole "soluble" dans l'eau. Semblables à de nombreux mélanges industriels, ils contiennent divers ingrédients actifs (1). Depuis cinq ou sept ans, les dispersants contiennent des solvants ou des agents d'entraînement (éthylèneglycol, eau, polyols ou cellosolves) qui permettent le mélange des ingrédients actifs des surfactants avec le pétrole. Les dispersants utilisés auparavant, en particulier ceux qui ont servi au moment de l'accident du *Torrey Canyon* (Grande-Bretagne), étaient très toxiques. Cette toxicité était due en grande partie à la nature des solvants ou des agents d'entraînement utilisés, tels les solvants chlorés. Les dispersants produits récemment sont beaucoup moins toxiques (par un ou deux ordres de grandeur). On s'entend généralement sur le fait que c'est l'efficacité des dispersants, et non pas leur toxicité, qui pose des problèmes (2).

En théorie, lorsqu'un dispersant est appliqué sur du pétrole, ce dernier se disperse ou disparaît dans la mer. C'est rarement le cas dans la réalité. Souvent, peu de changements sont observés sur les lieux d'un déversement de pétrole après l'application de dispersants. Dans le présent article, nous tenterons d'expliquer ce phénomène et de déterminer à quel point les dispersants seraient efficaces s'ils étaient utilisés en eaux canadiennes.

Le recours aux dispersants dans les cas de déversements d'hydrocarbures s'explique par le fait qu'ils constituent des moyens simples d'intervention directe. Il existe peu de matériel de récupération des hydrocarbures en haute mer. En réalité, le matériel de récupération n'est utile qu'en eaux peu agitées car il est difficile de l'utiliser en haute mer et, au demeurant, son utilisation nécessite des ressources financières considérables, une grande préparation et une formation poussée des équipes d'intervention. En outre, les dispersants sont considérés comme le seul moyen de protéger les oiseaux marins en eaux agitées ou au large des côtes et ils sont souvent supposés efficaces en toutes circonstances. Nous allons expliquer pourquoi les produits et les méthodes d'application actuels sont rarement très efficaces, tout en formulant des recommandations pour l'avenir.

Revue des essais et de l'utilisation de dispersants

Parmi les pays industrialisés (notamment le Japon, les États-Unis, le Canada, la France, la Norvège, la Suède, le Danemark, la Hollande et la République fédérale d'Allemagne) seul le Royaume-Uni a utilisé et continue d'utiliser des dispersants régulièrement. L'opinion des spécialistes de la plupart des autres pays à ce sujet est semblable à celle des spécialistes canadiens: si les dispersants étaient efficaces et s'ils présentaient des avantages sur le plan de l'environnement, leur utilisation serait approuvée. Les autorités d'autres pays, dont la Hollande, la République fédérale d'Allemagne et les États-Unis, ont limité l'application des dispersants et n'envisagent pas d'étendre leur utilisation (3). Il convient de noter que seuls le Canada, la Norvège et la France ont effectué des études poussées sur les dispersants et que le Canada tient le haut du pavé à ce chapitre (3). À lui seul, le Service de la protection de l'environnement a financé ces douze dernières années plus de 50 études coûtant environ 1 000 000 $ et il a apporté une grande contribution au Programme de déversements de pétrole à l'île Baffin (BIOS), dont le coût a dépassé

6 000 000 $. Cette dernière étude a été financée par plusieurs intervenants, dont l'industrie pétrolière canadienne, plusieurs ministères fédéraux, les gouvernements des États-Unis et de la Norvège et l'industrie pétrolière britannique. Selon les estimations, l'industrie canadienne et d'autres groupes gouvernementaux ont fourni une somme supplémentaire de 1 000 000 $ pour l'étude des dispersants au cours des douze dernières années. Il n'est même pas possible de donner un résumé des études effectuées, mais des résumés d'études antérieures ont été rassemblés en un volume (19). Il paraît constamment de nouvelles publications dans ce domaine. Les nouvelles *Lignes directrices concernant l'homologation des dispersants et leur utilisation pour traiter les nappes de pétrole*, publiées en 1984, renseignent sur les recherches effectuées depuis la parution de la première édition de cet ouvrage, il y a dix ans. Il est difficile de produire une documentation sur l'utilisation passée des dispersants car il est difficile, voire impossible, de vérifier l'efficacité d'un dispersant, de mesurer ses effets ou de faire des comparaisons par rapport aux résultats qui seraient obtenus si l'on n'en utilisait pas. En Grande-Bretagne, l'utilisation de dispersants à bord de petites embarcations pourvues de radeaux de brassage est acceptée depuis des années et elle semble donner des résultats satisfaisants dans certaines conditions. Ceux qui ont utilisé des produits de nettoyage de cales à bord ou à proximité de navires peuvent confirmer qu'ils sont efficaces. Ainsi, l'utilisation de dispersants sur une petite échelle et dans des milieux à grande énergie et relativement clos semble donner des résultats satisfaisants (19). Joe Nichols et Hugh Parker, de l'International Tanker Owners Federation, ont étudié quatre cas d'utilisation de dispersants sur une grande échelle, à l'occasion de déversements de grandes quantités de pétrole (4). Le tableau 1 donne un résumé des résultats de leur étude.

Comme le tableau 5 l'indique, l'étude des cas d'utilisation de dispersants ne permet pas d'évaluer leur efficacité car il est difficile de déterminer si les effets observés sont dus aux dispersants et d'expliquer pourquoi il n'y a pas eu d'effets, le cas échéant.

Les dispersants ont été mis à l'essai en laboratoire pendant un certain nombre d'années. Les deux protocoles d'expérimentation en laboratoire les plus utilisés sont le MNS (Mackay-Nadeau-Steelman) canadien, qui simule des conditions marines au moyen d'un courant d'air de grande vitesse au-dessus de 6 litres d'eau, et le ballon tournant, utilisé surtout en Grande-Bretagne (21). Ces deux essais donnent des résultats comparables lorsque le pétrole et les dispersants utilisés sont les mêmes, et leur rendement varie généralement de 30 à 90 p. 100 pour la plupart des types de pétrole et de dispersant. Toutefois, les essais sur le terrain n'ont pas donné des résultats aussi encourageants. En outre, des essais en petit effectués sur le terrain ont donné des résultats variables (22, 23).

Le grand nombre d'essais effectués sur le terrain montre l'intérêt porté par les spécialistes à la question de l'efficacité des dispersants en mer. Trois pays en particulier (le Canada, la France et la Norvège) ont fait des essais jusqu'en 1985. Les résultats, exposés en détail à l'annexe A, sont résumés ci-dessous.

Comme le tableau 2 l'indique, l'efficacité observée au cours des essais sur le terrain est très faible, sauf dans les cas où les dispersants sont prémélangés avec le pétrole. La moyenne des valeurs d'efficacité "élevée" apparaissant au tableau 2 est de 33 p. 100. Si l'on attribue une valeur raisonnable de 10 p. 100 à toutes les entrées NI (efficacité non indiquée) et si l'on ajoute cette valeur aux résultats estimatifs, la moyenne atteint 31 p. 100. Si l'on ne tient pas compte des valeurs obtenues au cours des essais avec dispersant et pétrole prémélangés, elle tombe à 24 p. 100. De toute évidence, les dispersants n'ont pas été très efficaces pendant les essais sur le terrain.

Le tableau 3 présente une analyse factorielle des essais sur le terrain. On constate que les piètres résultats obtenus ne peuvent être attribués clairement à un seul facteur. Toutefois, on peut tirer certaines conclusions: 1) dans une faible mesure, les essais effectués en mer agitée donnent des résultats plus positifs; 2) l'efficacité est peu accrue

Tableau 1
Résultats de l'utilisation de dispersants sur une grande échelle (4)

Accident	Pétrole	Quantité déversée	Quantité de dispersant	Technique d'application	Conditions météorologiques	Résultats
Olympic Alliance 1975, Pas de Calais	Brut léger	2000 tonnes métriques	220 tonnes métriques	Navire	Vents de force 4 ou 5 à l'échelle de Beaufort, puis coups de vent	Le pétrole semble s'être dispersé naturellement; dispersion chimique non confirmée.
Eleni V 1978, Lowestoft, G.-B.	Fuel lourd	7500 tonnes métriques	900 tonnes métriques	Navire	Vents calmes à coups de vent	Dispersants inefficaces
Betelgeuse 1979, baie Bantry Irlande	Brut d'Arabie	1000 tonnes métriques	35 tonnes métriques	Avion	Vents de force 4 à l'échelle de Beaufort	Côtes protégées efficacement
Sivani 1983, Immingham G.-B.	Brut du Nigeria	6000 tonnes métriques	113 tonnes métriques	Navire et avion	Vents de force 4 à l'échelle de Beaufort, puis coups de vent	L'estuaire Humber a été peu pollué par le pétrole; efficacité du dispersant non mesurée.

Tableau 2
Résultats des essais de dispersants sur le terrain

Année	Pays	Application	Nombre d'essais	Efficacité* (%)
1976	Grande-Bretagne	Navire	2	NI; 100
1978	U.S.A.	Hélicoptère	4	NI; NI; 100; 50
1978	Canada	Navire	2	NI; NI; NI
1979	U.S.A.	Navire	4	8; 5; 11; 62
		Avion	3	78; 45; 60
1981	Canada	Avion	2	Aucun résultat d'analyse
1982	France	Avion	2	50; NI
1982	Norvège	Navire	5	6; 17; 19; 22; 2
1982	Grande-Bretagne	Avion	2	NI; NI
1983	Hollande	Avion	4	2; 2; 2; 2
		Prémélange	1	100
1983	France	Navire	2	NI; NI
		Hélicoptère	1	NI
		Prémélange	1	40 - 50
		Avion	2	NI; NI
1983	Canada	Hélicoptère	3	1,5; 10; 16
1984	Canada	Prémélange	4	(70); (70); (70)**
1984	Norvège	Prémélange	1	(100)
		Avion	3	(50); (50); (50)
1985	France	Navire	2	(< 20); (< 20)
		Avion	1	(< 10)

* NI: non indiquée; généralement l'efficacité était trop faible pour être mesurée.
** Les valeurs entre parenthèses sont estimatives.

par des rapports pétrole-dispersant élevés; 3) les essais en petit semblent accroître la probabilité d'obtenir des valeurs très basses ou très élevées; 4) cette probabilité augmente également si l'on n'a pas recours aux techniques de télédétection aérienne. Une analyse de l'efficacité des dispersants a été faite en fonction des deux premiers facteurs considérés, soit le dosage du dispersant et l'état de la mer. Cette analyse, dont les résultats sont donnés au tableau 4, indique qu'il est essentiel de considérer certains facteurs deux par deux. En d'autres termes, des combinaisons de facteurs peuvent expliquer les données. Ainsi, les dispersants sont peu efficaces lorsque le dosage est faible et que la mer est peu agitée, et ils ont presque toujours une efficacité égale ou supérieure à la moyenne lorsque le dosage est élevé et que la mer est agitée.

Dans une certaine mesure, une simple analyse factorielle permet de comprendre l'inefficacité passé des dispersants dans les cas de déversements de pétrole. Ces dix dernières années, Environnement Canada a réalisé des analyses détaillées de l'efficacité des dispersants et a produit un modèle complet pouvant expliquer la plupart des résultats d'analyse, comme l'indique le tableau qui suit. L'examen des résultats des essais effectués dans le passé permet de tirer une conclusion simple: les dispersants ne constituent pas de moyens efficaces d'intervention. Leur application permet de supprimer environ 30 p. 100 d'une quantité de pétrole déversée, alors que dans certaines circonstances il peut s'en dissiper davantage par évaporation! C'est tout dire.

Tableau 3
Analyse des facteurs influant sur l'efficacité des dispersants au cours des essais

Facteur		Degré d'efficacité des dispersants				
		A (90 - 100 %)	B (75 - 90 %)	C (40 - 75 %)	D (10 - 40 %)	E (< 10 %)
État de la mer	Agitée (> 2)	6*	4	15	23	15
	Belle (1 ou moins)	2		4	9	21
Viscosité du pétrole	Faible (< 10 cSt)	4			4	9
	Moyenne (10 à 50)	4	4	13	15	19
	Élevée (> 50 cSt)			9	9	9
Mode d'application	Avion		4	11	2	9
	Hélicoptère	2		2	9	6
	Navire	2		2	19	17
	Prémélange	4		2		
Rapport pétrole: dispersant	Élevé (P:D < 10:1)			6	21	13
	Moyen (P:D > 10:1) (P:D < 30:1)	6	2	11	11	17
	Faible (P:D > 30:1)		2	4		4
Dosage multiple		2		11	4	2
Marque de dispersant	Corexit	4	4	11	7	19
	Dispolene			9	13	2
	Autres	4			11	17
Technique d'analyse	Sous la surface	6	6	2	13	31
	Sous la surface et par voie aérienne (I.R.; U.V.)	2	2	13	17	4

Tableau 3 (suite)

Facteur		Degré d'efficacité des dispersants				
		A (90 - 100 %)	B (75 - 90 %)	C (40 - 75 %)	D (10 - 40 %)	E (< 10 %)
Quantité de pétrole déversée	Petite (< 3 m^3)	6		9	13	31
	Moyenne (3 à 8 m^3)		2	9	11	
	Grande (> 8 m^3)	2	2	4	4	6

* Les valeurs sont exprimées en pourcentage des essais ayant donné des résultats dans chaque catégorie. Le nombre total des essais est de 47.

Tableau 4
Efficacité des dispersants en fonction du dosage et de l'état de la mer

	Niveau d'efficacité				
	A 90 - 100 %	B 75 - 90 %	C 40 - 75 %	D 10 - 40 %	E < 10 %
Mer agitée et dosage élevé des dispersants	4*	2	17	17	4
Mer peu agitée et faible dosage des dispersants				2	17
Autres combinaisons de facteurs	4	2	7	4	21

* Les valeurs sont exprimées en pourcentage du nombre total d'essais effectués.

Analyse de l'efficacité des dispersants

Les essais de dispersants effectués sur le terrain ces dernières années ont suscité plusieurs études sur les processus chimiques de dispersion, études qui ont permis d'établir que l'efficacité des dispersants varie en fonction de nombreux facteurs. Beaucoup de publications parues récemment ou à paraître relatent ces essais (17, 24, 25, 26). Nous décrirons brièvement les facteurs qui entrent en jeu, mais en ne présentant qu'un petit nombre des relations ou des équations applicables. Les facteurs suivants influent sur l'efficacité des dispersants:

État de la mer. - L'état de la mer joue un rôle déterminant. Les résultats des essais sur le terrain indiquent que l'efficacité des dispersants est de 10 p. 100 ou moins lorsque l'état de la mer correspond tout au plus à la force 1 à l'échelle de Beaufort. La mer doit être agitée pour que les gouttelettes stables nécessaires à la dispersion (d'un diamètre de 3 à 30 microns) se forment et se déplacent.

Contact avec le pétrole. - Il faut que le dispersant entre en contact avec le pétrole pour agir. Or, cela se réalise difficilement dans la pratique.

Dosage du dispersant. - Des essais en laboratoire ont révélé que les dispersants sont efficaces même lorsque le rapport pétrole-dispersant (P:D) est de 80:1 seulement. Sur le terrain, un dosage plus élevé est nécessaire car l'énergie présente est moins grande et le dispersant entre moins en contact avec le pétrole. Les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque le rapport P:D était supérieur à 20:1 et même à 10:1 ou 5:1. Il est aussi très important de considérer le dosage en fonction de la zone épaisse et de la zone mince de la nappe. En effet, la forme de la plupart des nappes de pétrole ressemble à celle d'un oeuf frit: environ 10 p. 100 du volume du pétrole occupent 90 p. 100 de la superficie, soit la

zone mince, et vice versa. Si le dispersant est appliqué selon la technique traditionnelle, qui consiste à vaporiser la nappe en bandes à partir d'un navire, d'un avion ou d'un hélicoptère, la zone mince recevra beaucoup trop de dispersant tandis que la zone épaisse n'en recevra pas suffisamment. Par exemple, si l'on traite l'ensemble d'une nappe avec un dispersant appliqué à la dose de 20:1, celle-ci sera en fait de 2:1 dans la zone mince et de 200:1 dans la zone épaisse. Une grande partie du dispersant appliqué sur la zone mince sera gaspillée, alors que la zone épaisse n'en recevra pas assez, de sorte que l'opération sera probablement inefficace. Le correctif le plus facile consisterait à appliquer tout le dispersant sur la zone épaisse. Parmi les utilisateurs de dispersants, peu semblent comprendre ce principe pourtant simple. Outre ces trois grands facteurs, d'autres ont une importance, bien que moindre:

Déplacement du pétrole. - Lorsque le coefficient d'étalement d'une substance est plus élevé que celui d'une autre, la première déplace la seconde. Les dispersants qui traversent la nappe de pétrole entrent en contact avec l'eau. Comme les dispersants ont un coefficient d'étalement supérieur à celui du pétrole, ils le déplacent, ce qui pose un problème car les grosses gouttelettes de dispersants tombent les premières et déplacent le pétrole, de sorte que les autres gouttelettes tombent en grande partie dans l'eau sans toucher le pétrole. De plus, puisque ce phénomène dure environ 15 minutes, soit jusqu'à ce que le dispersant entre dans l'eau, le pétrole semble disparaître puis il réapparait au bout de 15 minutes. Certains partisans (très peu scrupuleux) des dispersants se servent de ce phénomène pour "prouver ou montrer" que ceux-ci sont efficaces.

Taille des gouttelettes de dispersant. - Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, les grosses gouttelettes de dispersant peuvent pénétrer dans la nappe de pétrole, si bien que le reste du dispersant est gaspillé. La pulvérisation aérienne des dispersants est une opération très délicate car les très petites gouttelettes sont emportées par le vent.

Viscosité du pétrole. - Il a été démontré expérimentalement que les dispersants ne se mélangent pas bien avec du pétrole d'une viscosité supérieure à 2000 cSt et qu'à mesure que la viscosité augmente une quantité de plus en plus grande de dispersant aura tendance à s'éloigner sans se mélanger au pétrole. En conséquence, les huiles très dégradées sous l'action des agents atmosphériques (p. ex. les huiles très visqueuses) et les huiles lourdes, comme le Bunker C, ne peuvent être dispersées.

Composition du pétrole. - La composition du pétrole a une grande influence sur l'efficacité des dispersants. Les pétroles à haute teneur en paraffine, comme celui d'Hibernia, sont difficiles à disperser.

Salinité de l'eau. - L'action des dispersants dépend en grande partie du milieu hautement ionique que constitue l'eau de mer. Aucun dispersant n'a encore pu disperser du pétrole en eau douce. D'une manière analogue, l'efficacité des dispersants diminue énormément à mesure que la salinité de l'eau diminue.

Qualité des dispersants. - Les dispersants n'ont pas tous la même qualité. On a constaté qu'un dispersant efficace en laboratoire l'est aussi sur le terrain. Par conséquent, les résultats des essais en laboratoire permettent d'évaluer la qualité des dispersants.

Séparation des dispersants. - Les dispersants sont beaucoup plus solubles dans l'eau que le pétrole. S'ils n'agissent pas directement sur le pétrole, ils se dissolvent en grande partie dans la colonne d'eau. Selon les estimations, ce processus élimine une telle quantité de dispersants qu'environ 0,1 p. 100 seulement de la quantité appliquée agit.

Des travaux récents subventionnés par le Service de la protection de l'environnement ont permis l'élaboration d'un modèle grossier qui tient compte de certains des facteurs mentionnés ci-dessus. Le modèle calcule séparément l'efficacité pour une nappe mince et pour une nappe épaisse, étant donné que des facteurs différents entrent en jeu. Dans le cas d'une nappe épaisse, le facteur principal (après l'état de la mer et le dosage du dispersant) est la qualité du dispersant. Dans le cas d'une nappe mince, les facteurs importants sont la taille des gouttelettes de dispersant et la superficie de la nappe, comme les commentaires sur le déplacement du pétrole l'ont indiqué.

Tableau 5
Comparaison entre les évaluations de l'efficacité des dispersants par le modèle et les évaluations par des essais sur le terrain

	Identification	Essai (%)	Modèle (%)
New Jersey, 1978	La Rosa	50	49
	Murban	50 - 90	55
Sud de la Californie, 1979	Prudhoe Bay	45	47
Esso, R.-U., 1982	Corexit 9527	5	13
Hollande, 1983	Concentré	3	3
	Prémélange	22	36
	Concentré	5	7
Halifax, 1983	Corexit 9527	1,5	8
	Corexit 9550	16	17
	BPMA700	36 - 41	39
Norvège	Concentré B	22	22
	Laboratoire		
Ballon tournant		25	22
MNS		46	47

Le modèle constitue une réussite encourageante en ce sens que les prévisions qu'il fournit s'approchent des résultats obtenus dans le passé au cours d'essais sur le terrain (24). Le tableau 5 permet de comparer les évaluations de l'efficacité des dispersants faites sur le terrain et par le modèle. La prise en considération d'un plus grand nombre de variances et le perfectionnement des équations existantes permettront de prévoir les résultats avec une très grande exactitude.

Ainsi, l'efficacité relative des dispersants est partiellement expliquée, et les principaux facteurs qui l'influencent sont connus. Par ailleurs, nous sommes en bonne voie de trouver un moyen d'en arriver à un degré d'efficacité acceptable.

Perspectives d'avenir

L'étude de l'efficacité des dispersants, qui se poursuit dans un certain nombre de secteurs, porte principalement sur la taille des gouttelettes, l'intervalle de temps entre l'impact des grosses et des petites gouttelettes, et les effets sur la surface. D'ici deux ou trois ans, on devrait être en mesure de prévoir l'efficacité des dispersants avec grande précision à l'aide d'un modèle informatique.

22. Gill, S.D., 1977, Dispersant Fiel Trials in Canadian Waters, Proceedings of the 1977 Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D.C., p. 391-394.

23. Dickinston, A., D. Mackay et D. McWatt, 1985, Report on the Beaufort Sea Small Scale Oil Spill Dispersant Trail, Service de la protection de l'environnement, rapport manuscrit EE-58, Environnement Canada.

24. Mackay, D., et A. Chow, 1985, Development of an Oil Spill Dispersant Effectiveness Model (en préparation).

25. Chau, E., A. Chau, W.Y. Shiu et D. Mackay, 1985, Multi-hit Dispersion of Oil Spill (sous presse).

26. Eastcott, L, W.Y. Shiu et D. Mackay, 1985, A Study of Surface Energy and Oilspills (sous presse).

27. Bobra, M., A. Chau et D. Mackay, 1984, What's New in Chemical Dispersion, Proceedings of the 7th Annual Arctic Marine Oilspills Program Technical Seminar, p. 257-269.

28. Mackay, D., A. Chau, K. Hossain et M. Bobra, 1984, Measurement and Prediction of the Effectiveness of Oil Spill Chemical Dispersants, dans Oil Spill Chemical Dispersants: Research, Experience, and Recommandations, STP 840, Tom E. Allen, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 38-54.

Annexe A: Données sur les évaluations de l'efficacité des dispersants

Source	Numéro	Type de pétrole	Viscosité (cSt) (20 °C)	Quantité déversée (m^3)	Dispersant	Mode d'application	Dosage (P:D)	État de la mer	Efficacité (%)	Niveau d'efficacité*
Cormack et Nichols (4, 5)	1	Ekofisk	8	0,5	Conc. 10 %	Navire, WSL		1		E
	2	Koweït	14		Conc. 10 %	Navire, WSL	20:1	2 - 3	100	
McAuliffe et coll. (4, 6)	3	Murban	5	1,7	Corexit 9527	Hélicoptère	> 5:1	1		E
	4	La Rosa	80	1,7	Corexit 9527	Hélicoptère	> 5:1	1		D
	5	Murban	5	1,7	Corexit 9527	Hélicoptère	>11:1	1	100	
	6	La Rosa	80	1,7	Corexit 9527	Hélicoptère	>11:1	1	50	
McAuliffe et coll. (4, 7)		Prudhoe Bay	35	1,6	Témoin	Témoin		2 - 3	0,5	
	7	Prudhoe Bay	35	1,6	Conc. 2 %	Navire	67:1	2 - 3	8	
	8	Prudhoe Bay	35	1,6	Conc. 2 %	Navire	67:1	2 - 3	5	
	9	Prudhoe Bay	35	3,2	Conc.	Avion, DC-4	20:1	2 - 3	78	
	10	Prudhoe Bay	35	1,6	Conc.	Avion, DC-4	25:1	2 - 3	45	
		Prudhoe Bay	35	1,6	Témoin	Témoin		2 - 3	1	
	11	Prudhoe Bay	35	3,2	Conc.	Avion, DC-4	27:1	2 - 3	60	
	12	Prudhoe Bay	35	1,6	2 %	Navire	11:1	2 - 3	11	
	13	Prudhoe Bay	35	1,6	2 %	Navire	11:1	2 - 3	62	
Bocard et Gatellier (4, 8)	14	Fuel léger	35	6,5	Dispolene 325	Avion, CL215	> 3:1	1 - 2	50	
	15	Fuel léger	35	6,5	Shell	Avion, CL215	> 3:1	2 - 3		D
		Fuel léger	35	6,5	Témoin	Témoin		1 - 2		

Annexe A (suite)

Source	Numéro	Type de pétrole	Viscosité (cSt) (20 °C)	Quantité déversée (m^3)	Dispersant	Mode d'application	Dosage (P:D)	État de la mer	Efficacité (%)	Niveau d'efficacité*
Green et coll. (4, 9)	16	North Slope	70	0,2	10 %, 9527	Navire, WSL	1:1	2		E
	17	North Slope	70	0,4	10 %, 9527	Navire, WSL	1:1	1		E
	18	North Slope	70	0,2	10 %, 9527	Navire, WSL	1:1	1		E
Lichtenthaler et Daling (4, 10)		Statfjord	17	0,2	Témoin	Témoin		2 - 3	0,6	
	19	Statfjord	17	0,2	Conc. 10 %	Navire	>10:1	2 - 3	6	
	20	Statfjord	17	0,2	Conc. 10 %	Navire	10:1	2 - 3	17	
	21	Statfjord	28	0,2	Témoin	Témoin		2 - 3	2,6	
	22	Statfjord	28	0,2	Conc. 10 %	Navire	17:1	2 - 3	19	
	23	Statfjord	28	0,2	Conc. 10 %	Navire	18:1	2 - 3	22	
	24	Statfjord	28	0,2	Conc. 10 %	Navire	13:1	2 - 3	2	
Cormack (4, 11)		Arabe	10	20	Témoin	Témoin		1		
	25	Arabe	170	20	Corexit 9527	Avion, Isl.	2:1	1		E
	26	Arabe	385	20	Corexit 9527	Avion, Isl.	4:1	1		E
Bocard et coll. (4, 12)	27	Fuel léger	100	3	10 % Dispolene 325	Navire	> 2:1	3		D
	28	Fuel léger	100	5	Dispolene 325	Avion, CL215	> 2,4:1	3		C
	29	Fuel léger	100	5	Dispolene 325	Navire	> 2,8:1	2		D
	30	Fuel léger	100	5	Dispolene 325	Avion, CL215	> 2,8:1	2		C
	31	Fuel léger	250	3,5	Dispolene 325	Navire	> 2,6:1	1 - 2		D

Annexe A (suite)

Source	Numéro	Type de pétrole	Viscosité (cSt) (20 °C)	Quantité déversée (m^3)	Dispersant	Mode d'application	Dosage (P:D)	État de la mer	Efficacité (%)	Niveau d'efficacité*
	32	Fuel léger	100	4	Dispolene 325	Hélicoptère	> 2,9:1	1 - 2		D
	33	Fuel léger	100	2	Prémélange	Prémélange	20:1	1 - 2	40 - 50	
		Fuel léger	100	5	Témoin	Témoin		2		
Delvigne (4, 13, 14)		Statfjord	8	2	Témoin	Témoin		1 - 2	2	
		Fuel léger	60	2	Témoin	Témoin		1 - 2	2	
		Statfjord	8	2	Témoin	Témoin		1	2	
	34	Statfjord	8	2	Finasol OSRS	Avion	10-30:1	1	2	
	35	Fuel léger	60	2	Finasol OSRS	Avion	10-30:1	1	2	
	36	Statfjord	8	2	Finasol OSRS	Prémélange	20:1	2 - 3	100	
	37	Fuel léger	60	2	Témoin	Témoin		2 - 3	2	
	38	Statfjord	9	2	Finasol OSRS	Avion	10-30:1	1 - 2	2	
	39	Statfjord	9	2	Finasol OSRS	Avion	10-30:1	1 - 2	2	
Swiss et Gill (4, 14, 15)	40	ASMB	7	2,5	Corexit 9527	Hélicoptère	20:1	1	1,5	
		ASMB	7	2,5	Témoin	Témoin		1	< 0,5	
	41	ASMB	7	2,5	Corexit 9550	Hélicoptère	10:1	1	10	
		ASMB	7	2,5	Témoin	Témoin		1	< 0,5	
	42	ASMB	7	2,5	BPMA700	Hélicoptère	10:1	2 - 3	16	
		ASMB	7	2,5	Témoin	Témoin		2 - 3	4,3	

Annexe A (suite)

Source	Numéro	Type de pétrole	Viscosité (cSt) (20 °C)	Quantité déversée (m^3)	Dispersant	Mode d'application	Dosage (P:D)	État de la mer	Efficacité (%)	Niveau d'efficacité*
Lichtenthaler et Daling (16, 17)		Statfjord	12	10	Témoin	Témoin		1		
	43	Statfjord	12	10	Corexit 9527	Avion, Isl.	75:1	1		C
		Statfjord	12	10	Témoin	Témoin		2		
	44	Statfjord	12	10	Corexit 9527	Avion	80:1	2		C
	45	Statfjord	12	12	Corexit 9527	Prémélange	33:1	2		A
	46	Statfjord	12	10	Corexit 9527	Avion	50:1			B
Protecmar VI (18)		Fuel Oil	40	5	Témoin	Témoin		< 1		
	47	Fuel Oil	40	28	Dispolene 355	Hélicoptère	?	< 1		E
	48	Fuel Oil	40	Partie de la quantité ci-dessus	Dispolene 355	Navire (vaporisation)	?	< 1		D
	49	Fuel Oil	40	Partie de la quantité ci-dessus	Dispolene 355	Navire, aérosol	?	1		D

ASMB: Alberta Sweet Mixed Blend (brut non sulfuré); Conc: concentré; Isl: Islander; WSL: Warren Springs Laboratory.
* Les cotes ont été déterminées par l'auteur. A = 90 - 100 %; B = 75 - 90 %; C = 40 - 75 %; D = 10 - 50 %; E = < 10 %.