BULLETIN de la lutte contre les déversements

ISSN 0381-4459

VOLUME 19 (3)
Juillet-Septembre 1994

PROJETS DE RECHERCHE SUR LES DÉVERSEMENTS DE LA DIVISION DE LA SCIENCE DES URGENCES

Merv Fingas, Gary Sergy, Zhendi Wang, Carl Brown, Paul Jokuty, Pat Lambert, Ben Fieldhouse et Sandra Blenkinsopp
Division de la science des urgences
Centre de technologie environnementale
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)

Introduction

Environ 60 projets portant sur des déversements de pétrole sont maintenant en cours. Il s'agit de projets à court terme et de projets étalés sur plusieurs années. Ces projets portent spécialement sur les propriétés et le comportement du pétrole. La plupart d'entre eux sont effectués en coopération avec d'autres organismes comme le Minerals Management Service des États-Unis, la Coast Guard des États-Unis et l'industrie pétrolière canadienne. De nouveaux projets sont continuellement ajoutés, au fur et à mesure que les projets en cours prennent fin.

On effectue des projets dans 11 domaines principaux :

1. devenir et comportement du pétrole
2. propriétés du pétrole et techniques de mesure de ses propriétés
3. comportement du pétrole et modélisation des déversements
4. mesures d'intervention *in situ* en cas de déversement
5. télédétection
6. analyse du pétrole
7. agents de traitement des déversements
8. devenir et effets environnementaux du pétrole
9. études portant sur la biodégradation
10. sécurité du personnel sur les lieux du déversement
11. préparation de trousses d'information technique

La Division de la science des urgences est une composante du gouvernement canadien responsable de la recherche et du développement en ce qui concerne les aspects scientifiques des déversements de pétrole et de produits chimiques. En plus d'effectuer de la recherche, la Division offre des conseils en cas de déversements importants et effectue des opérations de recherche et d'aide sur place. Le présent article traite plus particulièrement des projets de recherche sur des opérations liées aux déversements. Des travaux sont aussi en cours en ce qui concerne la recherche sur les déversements de produits chimiques, bien que ces projets ne soient pas aussi nombreux que les projets de recherche sur les déversements de pétrole. Cette différence s'explique par le nombre relativement élevé de déversements de pétrole par rapport aux déversements de produits chimiques (environ 10:1).

Canada

Environnement Canada Environment Canada

Trois comités internationaux ont établi un ordre de priorité pour les projets et ils ont rencontré chaque année des représentants d'Environnement Canada pour discuter des priorités ainsi que des idées de projets.

Ces comités sont les suivants : le Comité sur les propriétés physiques et le comportement des déversements de pétrole, le Comité sur les mesures d'intervention et leurs effets et le Comité sur la surveillance des déversements chimiques. Leurs membres proviennent de divers groupes de l'environnement et de l'industrie, et ce sont principalement des fournisseurs de fonds pour la recherche plutôt que des utilisateurs.

Projets sur le devenir et le comportement du pétrole

Les études portant sur le devenir et le comportement sont fondamentales pour la recherche sur les déversements de pétrole, et leurs résultats déterminent en grande partie les réponses opérationnelles. Les décisions concernant les mesures d'intervention devraient être basées sur une connaissance du devenir ultime et du comportement du pétrole. Bien que des travaux de recherche soient effectués à travers le monde entier sur le devenir du pétrole et sur son comportement, ils ne sont pas aussi spécifiques qu'ils le devraient, surtout à cause de l'irrégularité du financement affecté à la recherche sur les déversements. Comme les études sur le devenir et sur le comportement nécessitent un effort concerté et soutenu pour donner des résultats valables, elles ont souffert plus que dans d'autres domaines des sursauts du financement. Il s'est fait peu de recherche dans les universités à cause du manque de financement soutenu. Or, rares sont les autres organismes de recherche qui disposent des installations, de l'équipement et des compétences nécessaires pour effectuer des études fondamentales. Une deuxième difficulté dans ce domaine est la tendance qui favorise le financement des études d'un an. Généralement, peu de choses peuvent être déterminées en l'espace d'un an. Il faut 6 à 12 mois pour construire ou acquérir les appareils spéciaux, ce qui laisse peu de temps pour en étudier le fonctionnement. La courbe d'apprentissage joue aussi. Il est généralement accepté que, dans un domaine spécialisé, il faut à un nouveau scientifique six mois avant de produire un travail utile, deux ans avant de commencer à être productif et cinq ans pour être parfaitement productif. Peut-être à l'avenir, des études à plus long terme pourront être effectuées au sujet du devenir et du comportement.

L'état des connaissances dans le domaine du devenir, du comportement, de la météorisation et de la modélisation du pétrole est somme toute variable. Il existe de nombreuses carences en ce qui concerne nos connaissances dans ces domaines. Le devenir, le comportement et la transformation du pétrole sont régis par le fait que le pétrole est un mélange variable de centaines de composés. De nombreuses lois de chimie et de physique ne s'appliquent pas au pétrole parce qu'elles lui prêtent le comportement d'un liquide ou d'un gaz idéal, et une grande partie des connaissances acquises par les chimistes au cours des années s'appliquent difficilement au domaine des déversements de pétrole. Prenons, par exemple, les mesures physiques standard comme le point d'écoulement. À proprement parler, il n'y a pas de valeur unique pour le point d'écoulement dans le cas d'un mélange comme le pétrole. L'état actuel des connaissances dans la mesure du point d'écoulement n'est pas très avancé, et la reproductibilité dépend largement de la perception des opérateurs, malgré des normes très bien définies par l'ASTM. De la même façon, le pétrole ne possède pas un point d'ébullition, un point de fusion ou une vitesse d'évaporation uniques.

Les divers constituants du pétrole possèdent leurs propres paramètres physiques, mais ceux-ci sont modifiés et masqués par des facteurs de comportement d'ensemble. À la place de ces paramètres applicables à des produits chimiques purs, des paramètres d'ensemble ont été mis au point pour décrire les propriétés et le comportement du pétrole. Ces paramètres ne s'appliquent qu'aux mélanges pour lesquels ils ont été définis. Ce sont, par exemple, le point d'ébullition initial et le pourcentage de résidus.

Les projets suivants sont en cours à la Division de la science des urgences dans le domaine du comportement des déversements de pétrole.

Stabilité des émulsions - La formation d'émulsions complique beaucoup le nettoyage des déversements de pétrole. L'étude des émulsions d'eau dans l'huile, menée en coopération avec le Minerals Management Service des États-Unis, avance sur plusieurs fronts. Dans une étude importante sur la stabilité des émulsions d'eau dans l'huile, on tente de classifier les émulsions au moins selon deux types : stables et instables. Les études effectuées au cours de l'année dernière ont montré qu'il existe une classe d'émulsions très stables, caractérisées par leur persistance pendant plusieurs jours. Ces émulsions stables, dont la viscosité augmente en fait avec le temps, ont été surveillées pendant plus de cinq semaines, et de nouvelles études portent sur des périodes beaucoup plus longues. La viscosité des émulsions instables n'augmente pas ainsi avec le temps. La viscosité initiale de ces émulsions est inférieure de deux puissances de dix par rapport à celle du pétrole de départ. Par contre, l'augmentation de

la viscosité dans le cas des émulsions stables est d'au moins trois puissances de dix. Les nouvelles recherches montrent qu'il peut en fait exister plusieurs classes de stabilité pouvant être distinguées au moyen de mesures rhéologiques ou autres.

Une étude auxiliaire porte sur la mise au point de plusieurs techniques de formation des émulsions. Un certain nombre d'appareils ont été mis à l'essai, et des méthodes ont été élaborées pour préparer des émulsions.

Chimie de la formation des émulsions - Des études se poursuivent sur le mécanisme de formation des émulsions d'eau dans l'huile. Une étude a montré que les asphaltènes et les résines précipitent et peuvent alors agir comme des agents tensio-actifs pour stabiliser des gouttelettes d'eau dans l'huile. On pense qu'il faut environ 3 % d'asphaltènes et de paraffines pour remplir cette fonction. Ce facteur devra être étudié de manière plus poussée, car les données étaient limitées au moment de l'étude. Les asphaltènes et les paraffines sont stabilisés dans le pétrole par le BTEX (Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes). Après une météorisation suffisante, les asphaltènes et les résines ne sont plus solubilisés et peuvent précipiter pour stabiliser les émulsions. Le facteur de solubilité doit faire l'objet d'autres recherches, de même que les quantités d'énergie et la taille des gouttelettes d'eau, surtout parce qu'on ne dispose pas de techniques de mesure exactes.

Évaporation du pétrole - Les équations classiques sont basées sur des équations d'évaporation de l'eau et sur des données relatives à la régulation de la couche limite. Des études approfondies sur l'évaporation du pétrole ont montré que le pétrole n'est pas nécessairement soumis à une régulation de la couche limite, ce qui a des répercussions profondes dans le cas de la plupart des pétroles qui ne sont pas légers ou lorsque la régulation de la couche limite n'est pas importante. La plupart des répercussions s'expliquent par la manière dont des facteurs comme le vent influent sur l'évaporation. Parmi les autres répercussions importantes, on compte les suivantes : le fait que la nappe de pétrole soit plus étendue ne fait pas augmenter l'évaporation, le vent n'influe pas sur le temps global d'évaporation et la régulation de la couche limite ne joue que dans le cas des nappes de pétrole très épaisses. Parmi les avantages de cette recherche, on note la mise au point d'équations simplifiées qui permettent de prévoir avec exactitude la perte par évaporation.

Dispersion naturelle - Le processus de dispersion naturelle dans le cas du pétrole a été étudié en liaison avec les études de dispersion des produits chimiques. Les résultats montrent qu'il existe un seuil d'énergie à partir duquel se produit une dispersion naturelle et que ce seuil est plus élevé pour la dispersion du pétrole que pour la dispersion des produits chimiques. L'augmentation de la dispersion avec l'accroissement d'énergie est bien moindre lorsque des dispersants sont utilisés.

Étude de l'étalement et de l'épaisseur - Certaines études ont porté sur l'épaisseur des nappes de pétrole déversées, et on tente actuellement de mettre au point une méthode pour mesurer en laboratoire l'épaisseur du pétrole. Il s'agit d'une étude difficile parce que la pellicule brillante du pétrole se sépare de la masse de pétrole qui s'étend.

Comportement des déversements de pétrole (BOSS) - Le projet BOSS a été conçu pour donner une collecte importante des données et un examen approfondi des notions liées au comportement du pétrole déversé. Parmi les sujets traités, on compte le comportement du pétrole déversé en mer ainsi que les cas moins documentés du pétrole déversé sur terre, en eau douce et dans le sol. Les sujets initialement choisis pour le projet sont les suivants :

1. évaporation
2. émulsification eau dans l'huile
3. dissolution
4. dispersion naturelle
5. sédimentation
6. dispersion chimique (uniquement dans la mesure où elle influe sur le devenir du pétrole et sur ses propriétés)
7. adhérence sur le rivage
8. étalement
9. dérive sous l'action du vent et effet de Coriolis
10. biodégradation (uniquement dans la mesure où elle influe sur les propriétés du pétrole et son comportement)
11. submersion et lavage
12. photooxydation et photolyse

Comportement et devenir dans des situations spécifiques

13. pétrole en présence de glace
    - pétrole sous la glace
    - pétrole au milieu de la glace
    - pétrole dans la glace
    - pétrole sous la neige ou avec de la neige mais sur la glace
14. pétrole avec de la neige ou sous la neige
15. pétrole sur la terre
16. pétrole dans le sol

Autres sujets

17. résumé de l'analyse du pétrole

La documentation sur chaque sujet est recueillie, passée en revue et analysée en détail. On prépare ensuite des résumés puis on les révise. Ces résumés visent à être exhaustifs, de sorte que la documentation originale ne soit pas nécessaire pour d'autres

applications. On prépare des critiques de chaque document.

On prépare en ce moment une deuxième version du projet BOSS pour le pétrole dans la glace qui est beaucoup plus technique et détaillée que l'ébauche.

Propriétés du pétrole et mesure de ses propriétés

La mesure des propriétés du pétrole est régie par le fait que le pétrole est un mélange. Presque toutes les normes de mesure sont élaborées pour le raffinage du pétrole au cours duquel des facteurs importants sont liés à des propriétés de distillation et non au comportement dans l'environnement. Moins fréquents sont les travaux sur les techniques de mesure et sur les normes relatives au devenir du pétrole et à son comportement dans l'environnement. Ceci est probablement dû au fait que l'industrie de lutte contre les déversements de pétrole et la pollution par le pétrole est petite et que la demande de techniques de mesure spécialisée est faible. Les projets suivants portent sur les techniques et les normes.

«Catalogue des propriétés du pétrole» - Ce catalogue a été compilé pour la première fois par Environnement Canada en 1984, et le projet est financé conjointement avec le Minerals Management Service des États-Unis depuis 1989. On a commencé ce catalogue afin de fournir des données physiques et chimiques relatives aux déversements de pétrole, car il n'existait pas de catalogue de ce type et parce qu'on pouvait seulement trouver des données en consultant au hasard la documentation. En compilant les données pour le premier catalogue, on s'est rendu compte qu'il existait en fait très peu de données. L'édition de 1992 existe sous forme de disquette. Elle est aussi accessible par l'intermédiaire de SPILLS, un babillard électronique, ainsi que sur papier.

La base de données sur le pétrole comprend plus de 380 types ou groupes de pétrole et jusqu'à 60 points de données sur certains pétroles. De nombreuses activités sont en cours à la Division de la science des urgences pour mesurer de nouvelles propriétés du pétrole et pour mettre au point de nouvelles techniques de mesure.

Les travaux futurs liés au catalogue porteront, entre autres, sur la mise au point de protocoles nouveaux ou améliorés pour l'analyse des groupes d'hydrocarbures, la mesure de la dispersibilité des produits chimiques, de la formation et de la stabilité des émulsions et pour le dosage du pétrole total par CG/SM. On mettra au point des équations plus utiles mettant en relation les propriétés physico-chimiques et la météorisation en mer. Des données seront également ajoutées au sujet des produits industriels courants et des produits pétroliers domestiques. Les méthodes d'assurance de la qualité de toutes les analyses effectuées à l'interne sont réexaminées.

Nouvelles techniques de mesure
Une nouvelle technique est en train d'être mise au point pour le dosage de certains groupes ou pour des dosages d'ensemble. Les hydrocarbures peuvent être fractionnés en différents groupes en fonction de leurs caractéristiques de solubilité et d'adsorption. Le protocole d'usage courant, constitué d'une séquence de séparations à l'aide de solutions diluées (dans des solvants appropriés) et de colonnes d'adsorption, est connu sous le nom de SARA : saturés, aromatiques, résines, asphaltènes. Dans le cas de chacun de ces groupes, la définition de la matière séparée est un mélange de chimie et de technique. Chaque groupe est défini principalement par les méthodes employées pour l'isoler. Par exemple, les asphaltènes précipités à partir du *n*-pentane ne sont pas les mêmes qui ceux qui précipitent à partir du *n*-heptane. Malgré tout, la détermination du groupe d'hydrocarbures peut permettre d'établir une corrélation avec d'autres propriétés du pétrole comme la dispersibilité des produits chimiques ou leur tendance à former des émulsions et leur stabilité.

Les méthodes originales pour la préparation de ces fractions consistaient en une simple précipitation et une chromatographie sur de larges colonnes ouvertes, sous faible pression. Les adaptations récentes de ces méthodes sont, entre autres, la chromatographie en phase liquide haute performance (CLHP) avec colonnes à haute pression, la chromatographie automatisée avec détection au moyen de tiges de silice et détection par ionisation de flamme (Iatroscan). D'autres travaux sur l'analyse du groupe d'hydrocarbures sont nécessaires pour mettre au point une méthode fiable.

Les travaux se poursuivent également pour mettre au point et standardiser d'autres méthodes de mesure du pétrole.

Mesures du comportement environnemental - En plus de mettre au point de nouvelles méthodes physiques, on élabore aussi des façons de mesurer le comportement ultime des déversements dans l'environnement. Parmi les méthodes en cours de développement, on compte les suivantes : dispersibilité des produits chimiques, dispersibilité naturelle, adhérence aux surfaces, étalement, évaporation et formation d'émulsions. Des méthodes provisoires sont déjà utilisées pour obtenir des données destinées au «Catalogue des propriétés du pétrole».

Trousses d'analyse sur le terrain
Une trousse portative a été mise au point en 1993 pour effectuer des analyses sur les lieux des

déversements de pétrole. Ces méthodes étaient basées sur des techniques standard de laboratoire, et les résultats étaient équivalents à ceux obtenus en laboratoire. Cette trousse est constituée de quatre compartiments autonomes. Les trousses ont été utilisées avec succès et régulièrement depuis deux ans. Les travaux sur le terrain ont fourni de l'information opérationnelle précieuse qui a par la suite été incorporée dans la trousse.

Une trousse plus petite, portative, d'analyse sur place a aussi été mise au point pour être utilisée par le personnel de première intervention, afin de donner de l'information générale sur les propriétés du pétrole sur place. Cette trousse, qui est contenue dans un compartiment pesant moins de 12 kg, permet de mesurer la masse volumique, la viscosité, la teneur en eau et l'efficacité des dispersants et des désémulsifiants. Ces propriétés peuvent être déterminées à l'aide d'équipement courant de laboratoire qui coûte moins de 1 000 $.

Comportement du pétrole et modélisation des déversements

La connaissance du devenir du pétrole et de son comportement peut servir à modéliser le devenir des déversements de pétrole et son comportement, aspects importants pour prévoir où sera acheminé le pétrole une fois qu'il sera déversé et dans quel état il se trouvera. Les études portant sur la modélisation du comportement du pétrole et des déversements sont, entre autres, les suivantes.

Nouvel examen des algorithmes Cette étude constitue un examen des algorithmes comportementaux employés dans les modèles de déversement. Des examens de l'évaporation et de l'émulsification ont été complétés et soumis pour publication. De nouveaux algorithmes sont en cours de développement.

Modèle mondial de déversement du pétrole (WOSM) - On a constitué un partenariat pour financer la mise au point d'un système de modèle de déversement de pétrole de pointe. Les partenaires sont les suivants : Applied Science Associates, Inc., Aramco Oil Field Services, l'Association pétrolière du Canada, Chevron Oil Field Research Company, Environnement Canada, Exxon Production Research Company, Mobil Research and Development Corporation et l'Army Corps of Engineers des États-Unis.

Le projet principal est terminé, et une version opérationnelle du modèle est disponible. Le consortium en est arrivé à une deuxième phase consistant à ajouter plusieurs éléments comme un élément tridimensionnel, un système de liaison avec la rive et des fonctions d'importation des données.

Modification du WOSM pour le Canada - Environnement Canada poursuit la tâche en ajoutant plusieurs régions géographiques et des séries de données pour rendre le modèle opérationnel.

Mise à l'épreuve des données SEASONDE pour l'application du WOSM - SEASONDE est un système radar à basse fréquence servant à mesurer les courants à la surface de l'eau. Il fonctionne en mesurant la dispersion de Bragg à partir du dessus des vagues, à deux endroits distincts. Les données regroupées donnent des renseignements exacts sur les courants de surface à des intervalles d'environ 1,5 km, jusqu'à une distance de 60 km du rivage. En collaboration avec l'Imperial Oil, on a mesuré les courants de surface à plusieurs endroits, notamment dans les détroits de Juan de Fuca, de Géorgie et dans le lac Érié. D'autres recherches sur les applications en eau douce sont toutefois nécessaires, car on n'a pu obtenir de signaux de retour dans le cas du lac Érié.

Comparaison de SEASONDE et des bouées - Plusieurs études ont porté sur des dispositifs de dérive en liaison avec des essais réalisés avec SEASONDE. Ces dispositifs étaient, entre autres, trois types de bouées Orion, plusieurs types de copeaux de bois et certaines nouvelles bouées à dépistage radio. Les bouées Orion et les copeaux de bois se déplaçaient régulièrement le long des mêmes trajectoires que celles qui ont été mesurées par SEASONDE. Les bouées à dépistage radio plus récentes ne suivaient toutefois pas la même trajectoire que les autres dispositifs dans le cas de tous les essais. Au cours des 20 dernières années, plusieurs bouées ont été mises à l'essai, et les résultats ont été publiés.

Mesures d'intervention *in situ* en cas de déversement

La Division de la science des urgences met également au point des mesures d'intervention *in situ* faisant appel au brûlage *in situ*, au traitement des déversements de produits chimiques et aux mesures d'intervention touchant les rivages. La mise à l'essai des agents de traitement des déversements constitue un autre aspect des mesures d'intervention *in situ* qui fait l'objet d'une autre section. Les mesures d'intervention qui ne s'appliquent pas *in situ* sont préparées par la Division de la science des urgences.

Brûlage - Essai à Terre-Neuve - En 1993, une expérience importante, connue sous le nom d'«Expérience de Terre-Neuve sur le brûlage *in situ* des hydrocarbures», a été effectuée. Les données de l'analyse quantitative fournies par cette expérience montrent clairement que les émissions libérées par le pétrole enflammé *in situ* ont été moins

élevées que celles auxquelles on s'attendait. Tous les composés et les paramètres mesurés au-delà d'environ 150 m du feu étaient inférieurs aux concentrations suscitant des inquiétudes à l'égard de la santé, et de très faibles émissions ont été décelées au-delà de 500 m. On a déterminé que les polluants étaient produits en plus faible quantité dans le cas du brûlage au large de Terre-Neuve que dans les essais antérieurs sur plateau. On ne sait pas exactement pourquoi, mais il semble que la combustion ait été plus efficace dans le cas des essais au large.

Brûlage - Essai à échelle moyenne Environnement Canada et l'Environmental Protection Agency des États-Unis ont mesuré conjointement les émissions produites par trois brûlages de diesel effectués dans les installations de Mobile en octobre. L'analyse des résultats se poursuit, mais certains des résultats montrent que les feux de diesel produisent beaucoup plus de suie que les autres combustibles. On ne sait pas encore pourquoi.

Brûlage - Toxicité aquatique L'analyse des produits chimiques et la détermination de la toxicité pour plusieurs espèces ont été effectuées avec des échantillons provenant du brûlage, en laboratoire ou en milieu naturel, du pétrole sur l'eau. Les résultats montrent que le brûlage *in situ* n'a pas d'effets néfastes sur la colonne d'eau sous-jacente à part ceux associés au pétrole non brûlé.

Dispersion et biodégradation Plusieurs études sur la dispersion et sur la biodégradation sont en cours. Elles seront traitées de manière plus poussée dans les sections intitulées «Agents de traitement des déversements» et «Études portant sur la biodégradation».

Mesures d'intervention sur le rivage - Pétrole du sous-sol - Les essais sur colonnes en laboratoire sont utilisés pour déterminer le pouvoir de rétention et la capacité résiduelle de divers hydrocarbures présentant diverses viscosités, dans des sédiments de granulométrie différente. Les données seront utilisées pour améliorer la capacité de prévoir l'élimination ou la persistance du pétrole.

Interventions sur le rivage - Vitesses naturelles d'élimination On a mis au point un modèle pour prévoir la vitesse naturelle d'élimination du pétrole échoué sur des rivages à sédiments grossiers. Un projet à échelle moyenne a été préparé pour surveiller les vitesses d'élimination dans des sédiments grossiers au moyen de processus passifs (non liés à l'action des vagues). Conjointement avec l'Imperial Oil, on poursuit les recherches sur les interactions entre les particules fines et le pétrole dans les processus d'élimination (piégeage dans l'argile).

Mesures d'intervention - Lavage hydraulique - Une série d'essais à échelle moyenne et à échelle réelle sont prévus pour déterminer les effets biologiques intertidaux liés aux variables influant sur l'opération de nettoyage hydraulique, soit la pression de l'eau, la température de l'eau et la durée de l'exposition.

Mesures d'intervention sur le rivage - Manuels - Conjointement avec d'autres composantes opérationnelles des régions, diverses activités se poursuivent au sujet de l'élaboration des méthodes et des manuels d'évaluation du nettoyage des rives.

Télédétection

La capacité de déceler à distance et de quantifier les nappes de pétrole est importante lorsqu'on se trouve en présence de déversements de pétrole, particulièrement dans certaines conditions. La télédétection est particulièrement utile pour déceler visuellement des déversements la nuit ou dans le brouillard, ou encore en présence de fonds comme la glace, les algues ou des rives de couleur foncée.

Fluorodétecteurs - Conjointement avec le Minerals Management Service des États-Unis et la Coast Guard des États-Unis, Environnement Canada a terminé la construction d'un prototype de fluorodétecteur au laser. L'unité a été mise à l'essai avec grand succès dans le cas de pétrole sur l'eau et sur un terrain, et elle a souvent dépassé les attentes. Le prototype souffre, toutefois, du fait qu'il s'agit d'un appareil de profilage avec une empreinte d'environ 0,3 m et qu'il n'y a pas d'affichage pour donner de l'information en temps réel ou sous forme de carte. Un nouveau prototype est en construction pour incorporer ces dispositifs et pour montrer l'utilité de telles unités. Le premier prototype est connu sous le nom de LEAF (*Laser Environmental Airborne Fluorosensor*), et le nouveau prototype est appelé SLEAF (*Scanning Laser Environmental Airborne Fluorosensor*). Il s'agit d'un projet de grande envergure hautement technique. Les fluorodétecteurs sont les seuls détecteurs capables d'identifier de manière certaine du pétrole sur l'eau, les rives, et dans la glace, les algues ou les débris.

Détecteurs d'épaisseur - En collaboration avec le Minerals Management Service des États-Unis, l'Imperial Oil et l'Industrial Material Institute, Environnement Canada a mis au point un détecteur pour la télémesure de l'épaisseur des nappes de pétrole. Cette unité fonctionne comme un système à trois lasers qui produit des impulsions acoustiques dans le pétrole et mesure le temps de déplacement de l'impulsion acoustique à travers le pétrole. Il s'agit d'une mesure positive qui ne dépend pas de facteurs externes. Une unité de laboratoire a été construite et mise à l'essai à des distances allant jusqu'à 90 m et avec des vagues. Elle n'a pas bien fonctionné en avion parce

que certains constituants sont sensibles aux vibrations et au bruit. Les travaux se poursuivent pour trouver des solutions à ces difficultés.

Mise à l'essai des détecteurs - Environnement Canada soumet les télédétecteurs à des essais conjointement avec d'autres organismes comme le Minerals Management Service des États-Unis et la Coast Guard des États-Unis. Plusieurs essais importants ont été effectués au-dessus de réservoirs conçus spécialement à cette fin sur des rives artificielles. Ils aident à mettre au point les télédétecteurs parce que la véracité des informations au sujet du sol est très bonne et parce que les signaux peuvent alors être attribués à l'état spécifique du pétrole.

Mise au point d'un système de télédétection opérationnel - Environnement Canada est en train de mettre au point un système de télédétection opérationnel. Ce système est élaboré en mode générique dans la mesure du possible, de sorte que l'information sur son élaboration puisse être utilisée par les autres personnes qui souhaitent construire un système analogue. La Division de la science des urgences exploite un avion DC-3 dont elle est propriétaire qui est utilisé pour mettre à l'essai les nouveaux perfectionnements.

Analyse du pétrole

Comme on l'a déjà mentionné, on note une absence marquée de travaux sur des techniques de mesure et des normes pouvant s'appliquer au devenir et au comportement du pétrole dans l'environnement. Cette lacune s'explique probablement par le fait que l'industrie du nettoyage des déversements de pétrole et de la pollution par le pétrole est petite et ne crée pas la demande nécessaire en ce qui concerne les techniques de mesure spécialisées. Un certain nombre de techniques d'analyse sont nécessaires tant pour la réalisation d'autres recherches qu'à des fins opérationnelles. Dans l'avenir, les recherches seront davantage basées sur une analyse chimique soignée.

Détermination du pétrole total - Une méthode de fractionnement du pétrole brut, du pétrole soumis à la météorisation et des échantillons liés aux déversements de pétrole a été mise au point dans les laboratoires de la Division de la science des urgences avec des colonnes en verre de gel de silice. À l'aide de cette méthode, les huiles sont fractionnées en hydrocarbures aliphatiques et polyaromatiques. Chaque composé aliphatique, aromatique et chaque bioindicateur (triterpanes et stéranes) est caractérisé et identifié par CG/DIF et par CG/SM. Deux cent soixante-dix composés (101 aliphatiques, 125 HAP et 44 bioindicateurs) ont été décelés dans le pétrole ASMB. L'identification est basée sur des données du spectre de masse, sur la comparaison des données de CG avec des normes authentiques et sur le calcul des indices de rétention, ainsi que sur des comparaisons avec des valeurs authentiques données dans la documentation.

Mesure des composés BTEX - Une méthode rapide, fiable et efficace pour déterminer directement les composés BTEX et les constituants d'alkylbenzène du pétrole a été mise au point dans le laboratoire de la Division de la science des urgences, la CG/SM en mode de surveillance d'ions choisis (SIM) étant utilisée. Au moyen de cette méthode, 58 constituants d'alkylbenzène (6 composés BTEX, 8 isomères de la famille des C_3-benzènes, 19 isomères de la famille des C_4-benzènes, 16 isomères de la famille des C_5-benzènes, 7 isomères de la famille des C_6-benzènes, 1 composé de C_7-benzène et 1 composé de C_8-benzène) ont été décelés et caractérisés dans un pétrole de brut léger, l'*Alberta Sweet Mixed Blend* (ASMB).

Méthodes de biodégradation - Une méthode complète d'analyse chimique pour un produit de dégradation du pétrole par CG/SM et CG/DIF a été mise au point et elle est maintenant en cours de modification. Les composés recherchés sont, entre autres, des composés biodégradables saturés (*n*-alcanes et isoprénoïdes), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et leurs homologues alkylés ainsi que des composés bioindicateurs hautement résistants pour ce qui est de la biodégradation (triterpanes et stéranes). Jusqu'à présent, plusieurs centaines d'échantillons de pétrole en biodégradation ont été analysés. Pour chaque échantillon, on effectue trois analyses sur la fraction 1 pour déterminer la concentration des composés saturés totaux et pour quantifier la répartition des *n*-alcanes et des composés bioindicateurs; deux analyses par CG/SM sont effectuées sur la fraction 2 pour quantifier les HAP visés et leurs homologues; et un passage est effectué pour la fraction 3 par CG/DIF pour déterminer la teneur totale en hydrocarbures de pétrole.

Mesure de la météorisation - Pour comprendre la météorisation du pétrole, la clé est la quantification précise des composés présents dans le pétrole. La CG/DIF et la CG/SM permettent d'étudier les effets de la météorisation sur un pétrole brut léger, et on peut calculer un indice de météorisation pour quantifier le degré de météorisation du pétrole, les procédés de météorisation à court terme étant dominés par l'évaporation. Les équations et les données sont utilisées pour décrire la météorisation et pour estimer l'ampleur de l'évaporation du pétrole.

Méthodes pour les composés polaires - Le pétrole contient une quantité importante de composés polaires dont aucun ne peut être

analysé au moyen des méthodes actuelles. Les nouveaux perfectionnements visent à trouver une méthode pour séparer, analyser et quantifier ces composés. Les essais ont donné des résultats positifs, et une méthode provisoire devrait être prête d'ici un an.

Agents de traitement des déversements

La mise à l'essai et l'approbation des agents de traitement des déversements de produits chimiques constitue un autre aspect de la participation de la Division de la science des urgences aux mesures d'intervention *in situ*.

Dispersants

Mise à l'essai de nouveaux produits - La mise à l'essai de nouveaux dispersants commerciaux et expérimentaux se poursuit. L'essai avec flacon d'agitation a été modifié, et une nouvelle méthode d'essai a été rédigée, avec des améliorations, dont la plupart touchent les méthodes d'analyse. Le progrès le plus important vient du fait qu'on s'écarte des techniques de mesure dans le visible pour adopter une technique de CG qui, dans le cas des hydrocarbures légers et paraffiniques, améliore l'exactitude de plusieurs puissances de dix.

Mise au point de nouveaux agents La mise à l'essai de nouveaux dispersants commerciaux et expérimentaux se poursuit; les résultats sont très prometteurs et ils ont confirmé les hypothèses sur l'efficacité des dispersants.

Étude des aspects physiques - On a constaté que l'efficacité des dispersants est touchée par un certain nombre de facteurs apparentés, principalement par la composition du pétrole, la quantité de dispersants, la turbulence à la surface de la mer et la composition des dispersants. La turbulence de la mer influe beaucoup sur l'efficacité des dispersants. Les essais ont montré que l'efficacité augmente proportionnellement avec la turbulence puis reste constante à un niveau déterminé par la composition du pétrole et le type de dispersant. La quantité de dispersant utilisée est aussi un facteur critique, l'efficacité maximale étant réalisée avec des quantités très élevées - avec un rapport de 1:5, dispersant-volume de pétrole.

Les études se poursuivent pour ce qui est de la mise au point d'un modèle complet de l'efficacité des dispersants.

Nouvelles techniques de laboratoire - On est en train d'améliorer l'essai du flacon d'agitation et on a préparé une nouvelle méthode d'essai. Les techniques d'analyse ont aussi beaucoup été améliorées, particulièrement dans le cas des hydrocarbures paraffiniques. Les techniques de mesure dans le visible sont remplacées par une technique de CG.

Partage dans l'eau - On a effectué une étude portant sur le devenir des dispersants. On se concentre sur le partage des dispersants dans le pétrole plutôt que dans l'eau. On a mis au point des techniques d'analyse pour mesurer les agents tensio-actifs dans le pétrole et dans l'eau. Ces dernières sont utilisées pour examiner le devenir ultime des dispersants.

Agents de biodégradation

Ces agents seront traités dans la section «Études portant sur la biodégradation».

Agents de lavage en surface

Les agents de lavage en surface sont des matières contenant des agents tensio-actifs qui sont employées pour nettoyer des plages ou des constructions riveraines. On a mis au point un essai pour ces agents et on l'a utilisé pour tester plus de 80 produits commerciaux.

Agents pour briser les émulsions et en empêcher la formation

Les travaux se poursuivent pour mettre au point un essai servant à déterminer l'efficacité de ces agents. Il existe maintenant quatre essais. En raison de la complexité des émulsions, ces essais ont été très difficiles à mettre au point, les travaux se poursuivant depuis cinq ans. Avec les nouveaux essais, l'efficacité dans des systèmes fermés et ouverts et l'efficacité de l'inhibition ou du bris des émulsions sont testées séparément.

Agents de solidification

On a mis au point un essai sur l'efficacité des agents de solidification et on l'a utilisé pour tester plus de 25 produits commerciaux.

Mise au point d'essais applicables à de nouveaux agents

De nouveaux agents de types non indiqués plus haut font continuellement leur apparition, et des essais sont élaborés pour en vérifier l'efficacité. Il arrive fréquemment qu'un seul produit commercial soit proposé et il n'est donc pas possible de mettre au point ou de publier une méthode standard.

Mise au point de lignes directrices

Des lignes directrices et des normes d'acceptabilité sont élaborées pour tous les types d'agents susmentionnés.

Détermination de la toxicité et mise au point de méthodes

Lorsque des essais d'efficacité sont mis au point, des méthodes et des essais de toxicité aquatique sont élaborés et appliqués en même temps. Plusieurs normes ont été mises au point et un protocole pour mettre à l'épreuve la toxicité des sorbants est maintenant en cours de préparation. Ces essais sont évalués pour déterminer le ou les organismes les plus appropriés. Les essais faisant l'objet d'examen sont l'essai

de létalité aiguë sur la truite arc-en-ciel, l'épreuve de fécondation des échinodermes et l'essai de létalité aiguë sur l'épinoche à trois épines.

Devenir et effets environnementaux du pétrole

L'étude du devenir et des effets biologiques du pétrole constitue un élément important des études sur les déversements de pétrole. En fait, les décisions relatives aux interventions devraient être basées sur les effets des déversements de pétrole. De plus en plus, cependant, on insiste sur des mesures d'intervention qui réduisent l'effet environnemental, dans l'ensemble, des déversements.

Études d'anciens déversements
Les études portant sur des endroits où des déversements ont eu lieu donnent de l'information réelle sur le devenir et les effets à long terme des déversements de pétrole. Récemment, des études du déversement de *l'Arrow* qui remonte à 24 ans et du déversement expérimental effectué il y a dix ans sur l'île de Baffin (projet BIOS) ont montré que le pétrole persiste dans les endroits de faible énergie.

Fraction hydro-accommodée - Un partenariat a été formé avec la Marine Spill Response Corporation aux États-Unis pour mettre au point une méthode standard permettant de préparer des fractions hydro-accommodées. Une méthode tenant compte des connaissances acquises au cours de cette étude approfondie sera mise au point d'ici un an.

Toxicité des agents de traitement des déversements - Pendant que des essais visant à évaluer l'efficacité des agents de traitement des déversements sont mis au point, des méthodes et des essais de toxicité aquatique sont élaborés. Ainsi, plusieurs normes ont été élaborées.

Toxicité des hydrocarbures - De nouvelles données relatives aux hydrocarbures sont ajoutées au «Catalogue des propriétés du pétrole» et à la base de données chaque année. La plupart des essais portaient sur des fractions hydro-accommodées d'hydrocarbures et sur les espèces *Artemia* spp. (artémia) et *Daphnia magna* (puce d'eau). Comme la préparation des échantillons peut influer sur l'issue des essais de toxicité, on a interrompu les essais jusqu'à ce qu'un protocole standard ait été rédigé pour la préparation des fractions hydro-accommodées d'hydrocarbures.

Études portant sur la biodégradation

La biodégradation du pétrole déversé a fait l'objet d'études depuis de nombreuses années, mais elle a récemment gagné en popularité, car elle est perçue comme le meilleur moyen d'éliminer le pétrole déversé dans l'environnement. Il reste, toutefois, qu'on dispose de techniques permettant seulement de dégrader une faible partie de la plupart des pétroles au cours d'une longue période.

Études de laboratoire - Les travaux se poursuivent depuis deux ans pour mettre au point un essai de laboratoire standard afin d'évaluer l'efficacité en ce qui concerne la biodégradation des agents de bioassainissement du pétrole déversé en présence d'eau douce et d'eau salée. Cette étude fait l'objet d'un contrat avec la University of Alberta qui possède de vastes connaissances dans le domaine de la microbiologie de la dégradation des hydrocarbures. Le protocole applicable à l'eau douce est terminé et celui applicable à l'eau salée le sera cette année. Jusqu'à présent, 13 produits commerciaux ont été testés, ce qui a permis de concevoir et d'évaluer les protocoles. Une technique chimique perfectionnée a été mise au point pour analyser la dégradation des hydrocarbures.

Examen des endroits où ont déjà eu lieu des déversements
Conjointement avec les études visant à examiner le devenir et les effets à long terme du pétrole déversé, on a prélevé des échantillons de pétrole pour examiner l'ampleur de la biodégradation. Jusqu'à présent, les résultats montrent que la dégradation est variable à ces endroits.

Sécurité du personnel sur les lieux du déversement

Examen des données relatives aux COV - Des données relatives aux composés organiques volatils (COV) sont extraites à plusieurs endroits pour qu'on puisse examiner la concentration de ces composés par rapport à des normes. Le pétrole brut frais s'évapore rapidement et libère suffisamment de COV pour susciter des inquiétudes relatives à la santé à une distance importante par rapport à la source (peut-être 1 km). L'étude se poursuit en vue de déterminer de quelle manière ces conditions varient en fonction de différents scénarios de déversement.

Vérification des masques et des méthodes de protection
Environnement Canada a entrepris un programme pour analyser les sorbants et les filtres se trouvant dans les cartouches utilisées sur les lieux des déversements. Le but de cette recherche est de déterminer dans quelle mesure les sorbants s'approchent de la saturation et de déterminer si la contamination traverse les masques. Les recherches se poursuivent.

Mise au point de trousses d'information technique

Manuels - Environnement Canada met actuellement la touche finale à un nouveau manuel sur les

déversements qui traite de nombreux pétroles et produits pétroliers. On élabore de nouvelles méthodes de prévision et d'évaluation simplifiées.

Babillard électronique - SPILLS (*SPill Information Library Link System*) a été mis au point pour fournir de l'information technique et des bases de données à l'échelle du monde. Le «Catalogue des propriétés du pétrole» et cinq autres bases de données sont prêts. On cherche continuellement à développer les capacités de ce média et à préparer des trousses d'information.

Séminaires - Chaque année, Environnement Canada parraine un colloque technique sur les déversements de pétrole, connu sous le nom de colloque technique AMOP. Ce ministère parraine actuellement le dix-huitième colloque annuel. Cent articles y seront présentés au cours de deux séances simultanées et d'une séance d'affichage. Plus de la moitié des articles émanent de scientifiques étrangers.

Autres publications - Les résultats des programmes de recherche sont publiés de diverses façons, et plus de 50 publications sortent chaque année. On prépare aussi à l'occasion des publications spéciales et des résumés.

Le Bulletin de la lutte contre les déversements a été publié pour la première fois en 1976. De caractère modeste, il avait pour but de permettre un échange de renseignements sur les mesures d'intervention en cas de déversement ainsi que sur d'autres sujets connexes. Le bulletin compte maintenant au-delà de 2 000 abonnés et il est diffusé dans plus de 40 pays.

Pour que le bulletin élargisse la portée de son contenu et qu'il renseigne davantage sur ce qui se fait dans l'industrie et à l'étranger dans le domaine de la lutte contre les déversements et de leur prévention, nous invitons les lecteurs à soumettre des articles sur leurs travaux et leurs opinions dans ce domaine.

M.F. Fingas
Rédacteur technique
Division de la science des urgences
Direction générale de l'avancement des technologies environnementales
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Téléphone : (613) 990-7297

Publications de la Protection de l'environnement
Bureau du transfert de la technologie
Direction générale de l'avancement des technologies environnementales
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Téléphone : (819) 953-5921 ou (819) 953-5750