



UTILISATION DES DISPERSANTS DANS LE TRAITEMENT DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

GUIDE D'INFORMATIONS TECHNIQUES

4



Introduction

L'objectif principal d'un traitement au dispersant est de fragmenter une nappe d'hydrocarbures en une multitude de petites gouttelettes, favorisant ainsi leur dilution dans la colonne d'eau, puis leur biodégradation par les microorganismes présents dans l'eau de mer. Utilisés correctement, les dispersants peuvent être un moyen de lutte efficace contre la pollution causée par un déversement d'hydrocarbures et réduire ou prévenir les dommages aux ressources sensibles importantes.

À l'instar des autres modes de lutte antipollution, le traitement au dispersant doit faire l'objet d'une mûre réflexion, en tenant compte des caractéristiques de l'hydrocarbure, de l'état de la mer, des conditions météorologiques, des sensibilités écologiques et des règlements nationaux en matière d'utilisation de dispersants. Dans certains cas, le recours aux dispersants peut présenter des avantages environnementaux et économiques considérables, notamment lorsque d'autres techniques de lutte en mer sont limitées par les conditions météorologiques ou la disponibilité de ressources.

Ce document donne une vue d'ensemble de l'utilisation des dispersants sur les hydrocarbures flottants et de leurs limitations, dans le contexte des options de lutte antipollution disponibles en cas de déversement d'hydrocarbures en mer causé par un navire.

Mécanisme de dispersion et composition des dispersants

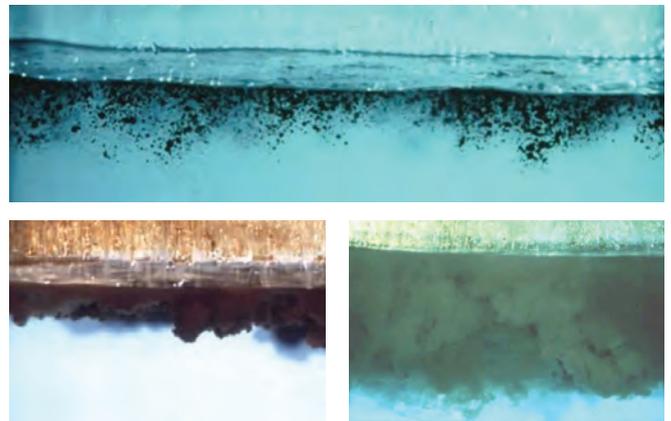
À la suite d'un déversement d'hydrocarbure à la surface de la mer, une partie de la nappe qui se forme peut être dispersée naturellement dans la colonne d'eau. Le degré de dispersion naturelle dépend du type d'hydrocarbure déversé et de l'énergie de brassage de la mer. Les hydrocarbures à faible viscosité se prêtent davantage à la dispersion naturelle que les hydrocarbures plus visqueux et, en règle générale, le degré de dispersion des pétroles bruts est supérieur à celui des fiouls.

Il y a dispersion naturelle lorsque l'énergie de brassage, générée par les vagues et le vent, est suffisante pour vaincre la tension interfaciale entre les hydrocarbures et l'eau et fractionner la nappe d'hydrocarbure en gouttelettes de taille variable (Figure 1a). Les plus grosses gouttelettes d'hydrocarbure refont rapidement surface et fusionnent pour reformer une nappe d'hydrocarbure. Les plus petites gouttelettes, maintenues en suspension dans la colonne d'eau par le mouvement des vagues et la turbulence, continuent d'être diluées sous l'effet des courants sous-marins.

Le processus de dispersion naturelle a lieu dans les mers modérément agitées, avec vagues déferlantes et vents supérieurs à 5 m/s (10 nœuds). Par exemple, une violente tempête au large des îles Shetland (Royaume-Uni) lors de l'échouement du pétrolier BRAER en 1993 est à l'origine de la dispersion naturelle de la majorité de sa cargaison de 85 000 tonnes de pétrole brut Gulfaks, à très faible viscosité. L'impact sur le littoral n'a été que minimal.

Conçus pour favoriser la dispersion naturelle par la réduction de la tension interfaciale entre les hydrocarbures et l'eau, les dispersants facilitent le fractionnement en gouttelettes d'hydrocarbure sous l'effet du mouvement des vagues (Figures 1b et 1c). Les dispersants sont composés d'un mélange de tensioactifs dans un solvant. Le solvant a deux fonctions : il agit en tant que « diluant », réduisant la viscosité du tensioactif pour qu'il puisse être épandu, et il favorise la pénétration du tensioactif dans la nappe d'hydrocarbure.

Chaque molécule tensioactive contient une partie oléophile (attirée vers l'huile) et une partie hydrophile (attirée vers l'eau). Lorsqu'il est pulvérisé sur l'hydrocarbure, le solvant transporte et

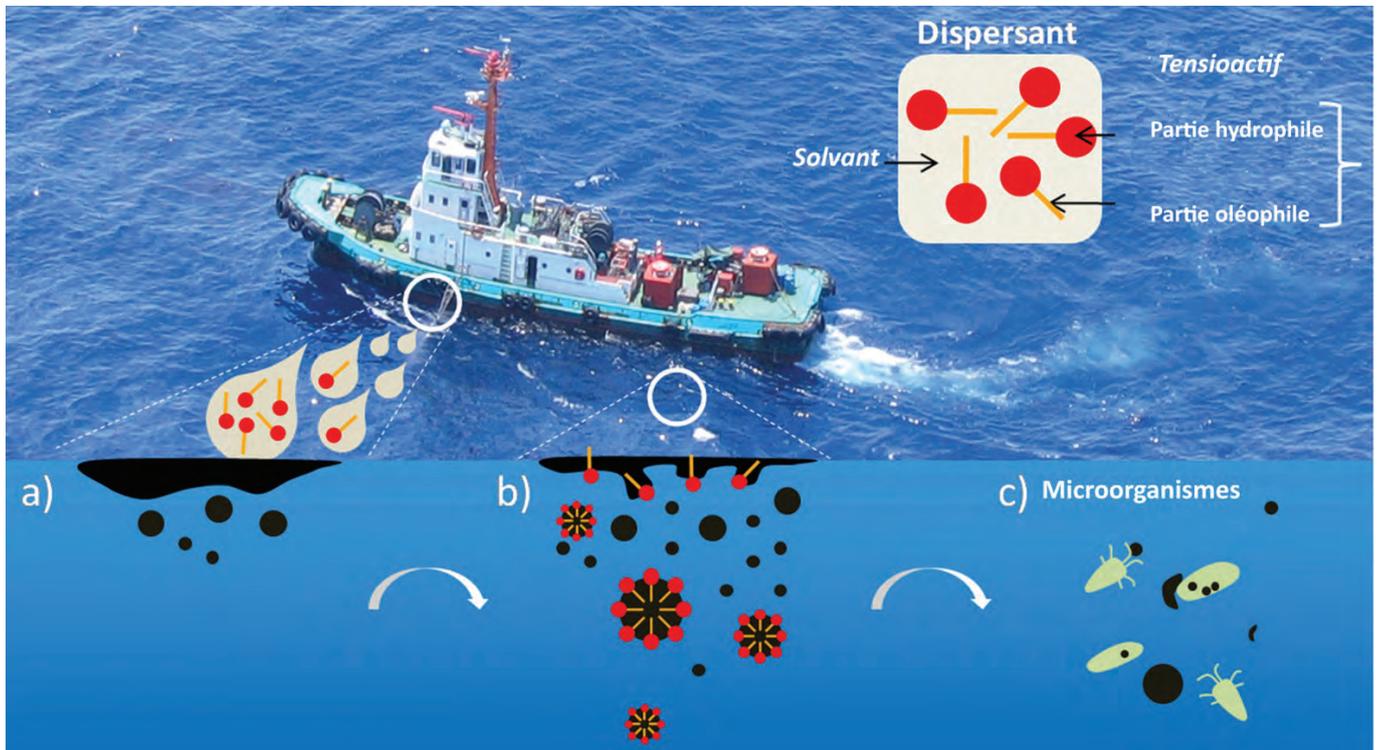


▲ Figure 1 : Dispersion réussie dans des conditions de laboratoire. a) Hydrocarbure sans dispersant (dispersion naturelle), b) Hydrocarbure avec dispersant et c) Hydrocarbure avec dispersant quelques secondes plus tard, démontrant une dilution rapide. (Images reproduites avec l'autorisation de Delft Hydraulics Institute).

distribue le tensioactif à travers l'hydrocarbure jusqu'à l'interface entre l'hydrocarbure et l'eau, où les molécules se réarrangent de telle sorte que la partie oléophile se trouve dans l'hydrocarbure et la partie hydrophile dans l'eau. La tension interfaciale entre l'hydrocarbure et l'eau est ainsi réduite et ce phénomène, conjugué avec l'énergie des vagues, fait que des gouttelettes se détachent de la nappe d'hydrocarbure. Celles qui sont de suffisamment petite taille pour rester en suspension dans la colonne d'eau donnent naissance à un panache caractéristique de couleur café, que l'on voit s'étaler sous la surface (Figure 1c).

Pour une dispersion efficace, la taille des gouttelettes d'hydrocarbure doit être de l'ordre de 1 μm à 70 μm , la plus stable se situant en dessous de 45 μm *. La vitesse de remontée à la surface des gouttelettes de cette gamme de taille est neutralisée par la turbulence de la mer ; elles restent en suspension et le mélange hydrocarbure/dispersant se dilue rapidement dans les quelques mètres supérieurs de la colonne d'eau. La présence des molécules tensioactives à la surface des gouttelettes et la probabilité réduite de contact entre les gouttelettes d'hydrocarbure au fur et à mesure qu'elles sont diluées et éloignées les unes des autres minimisent le risque qu'elles ne se

* μm = micromètres = 10^{-6} mètres. 1 μm = 0,001 mm



▲ Figure 2 : Le processus de dispersion chimique : a) Un dispersant contenant des tensioactifs et le solvant est épandu sur l'hydrocarbure. Le solvant entraîne le tensioactif dans l'hydrocarbure ; b) Les molécules tensioactives migrent vers l'interface entre les hydrocarbures et l'eau, et réduisent la tension superficielle, permettant ainsi à des gouttelettes d'hydrocarbure de se détacher de la nappe ; c) Les gouttelettes sont dispersées par brassage turbulent et finissent par être dégradées par des microorganismes d'origine naturelle, comme les bactéries et les champignons. Ce dernier stade peut nécessiter plusieurs jours, voire plusieurs semaines.

ré-agrégent pour reformer des nappes superficielles.

La biodégradation par divers microorganismes marins se produit à la surface de la gouttelette. La production de nombreuses gouttelettes d'hydrocarbure de plus petite taille augmente la superficie de l'hydrocarbure et donc la superficie biodégradable. Par exemple, une gouttelette d'1 mm de diamètre dispersée en 10 000 autres gouttelettes, toutes de 45 µm de diamètre, résulterait en une superficie égale à 20 fois celle de la gouttelette d'origine. Dans la pratique, les gouttelettes dispersées ne sont pas toutes de la même taille mais sont distribuées de telle sorte que les plus petites sont largement plus nombreuses, ce qui augmente considérablement la possibilité de biodégradation.

Classification des dispersants

Les dispersants sont classés par génération et par type. La première génération de produits, introduite dans les années 1960, se rapprochait des agents décapants et dégraissants industriels, caractérisés par une haute toxicité aquatique. Ils ne sont plus utilisés dans les opérations de lutte antipollution.

Les dispersants de deuxième génération, également appelés dispersants de type 1, ont été conçus spécifiquement pour le traitement des déversements d'hydrocarbures en mer par épandage à partir de navires. Ils contiennent un solvant hydrocarboné dont la teneur en aromatique est faible ou nulle et 15 à 20 % d'agents tensioactifs. Ils s'appliquent sans être dilués (purs) car la prédilution dans l'eau de mer les rend inefficaces. Ils nécessitent en outre un fort dosage, avec des proportions dispersant/hydrocarbure de l'ordre de 1:1 à 1:3. Bien que moins toxiques que les dispersants de première génération, ils sont moins efficaces et peuvent être plus toxiques que les dispersants de troisième génération. Dans de nombreux pays, les dispersants de type 1 ne sont plus employés. Les dispersants de troisième génération contiennent un mélange de deux ou trois agents tensioactifs, de glycol et de solvants de

distillat de pétrole léger. Les agents tensioactifs les plus couramment utilisés sont non ioniques (esters d'acide gras et esters d'acide gras éthoxylé) et anioniques (alkyl-sulfosuccinate de sodium). La concentration de tensioactifs dans le solvant est de l'ordre de 25 % à 65 % et tend à être supérieure à celle des produits de type 1.

Les dispersants de troisième génération sont divisés en dispersants de type 2 et de type 3 et sont des concentrés. Cependant, les dispersants de type 2 sont généralement prédilués à l'eau de mer avant utilisation, généralement à raison de 10 % de dispersant. Ils nécessitent néanmoins un fort dosage de 2:1 à 1:5 (mélange (eau + dispersant)/hydrocarbure) pour être efficaces. Parce qu'ils doivent être prédilués, leur emploi est limité à l'épandage. Les dispersants de type 3 sont utilisés purs et sont étudiés principalement pour permettre une application efficace par voie aérienne. Ils peuvent toutefois être épandus par navire. Le dosage varie entre 1:5 et 1:50 (dispersant pur/hydrocarbure), les proportions idéales dans la pratique étant déterminées par le biais d'essais lors d'un déversement. Les dispersants de troisième génération de type 3 sont à l'heure actuelle les plus courants.

Limitations des dispersants

L'efficacité des dispersants est limitée par certains paramètres physiques et chimiques, dont les plus importants sont l'état de la mer et les propriétés de l'hydrocarbure. Il est essentiel de connaître ces limitations afin de déterminer les situations pour lesquelles le recours au dispersant est approprié.

État de la mer

Un minimum d'énergie des vagues est requis pour que les dispersants soient efficaces en mer. À défaut, les gouttelettes d'hydrocarbure dispersé risquent de remonter à la surface et de reformer une nappe. D'autre part, par mer très agitée, l'hydrocarbure

risque d'être submergé par les vagues déferlantes. Le contact direct entre l'hydrocarbure et le dispersant est ainsi empêché et l'efficacité de l'opération est réduite. Les résultats d'essais de terrain indiquent qu'une vitesse du vent de l'ordre de 4 à 12 m/s (8 à 25 nœuds, Force 3 à 6 sur l'échelle de Beaufort) est optimale.

Les dispersants sont principalement destinés à être utilisés dans une eau de mer dont la salinité se situe aux alentours de 30–35 parties par millier. Leur efficacité diminue rapidement lorsque la salinité descend au-dessous de 5–10 parties par millier, surtout lorsqu'il s'agit d'un dispersant prédilué. Cela est également vrai lorsque la salinité dépasse les 35 parties par millier. L'efficacité est radicalement diminuée en eau douce car les tensioactifs ont tendance à migrer à travers la couche d'hydrocarbure vers la colonne d'eau, au lieu de se stabiliser à l'interface entre l'hydrocarbure et l'eau. Quelques dispersants ont cependant été spécialement formulés pour un usage en eau douce. Dans les systèmes d'eau douce confinés, par exemple les fleuves, les rivières et les lacs, d'autres facteurs doivent être pris en compte. Il convient notamment d'établir si la profondeur ou l'échange d'eau sont suffisants pour une dilution adéquate de l'hydrocarbure dispersé.

Propriétés de l'hydrocarbure

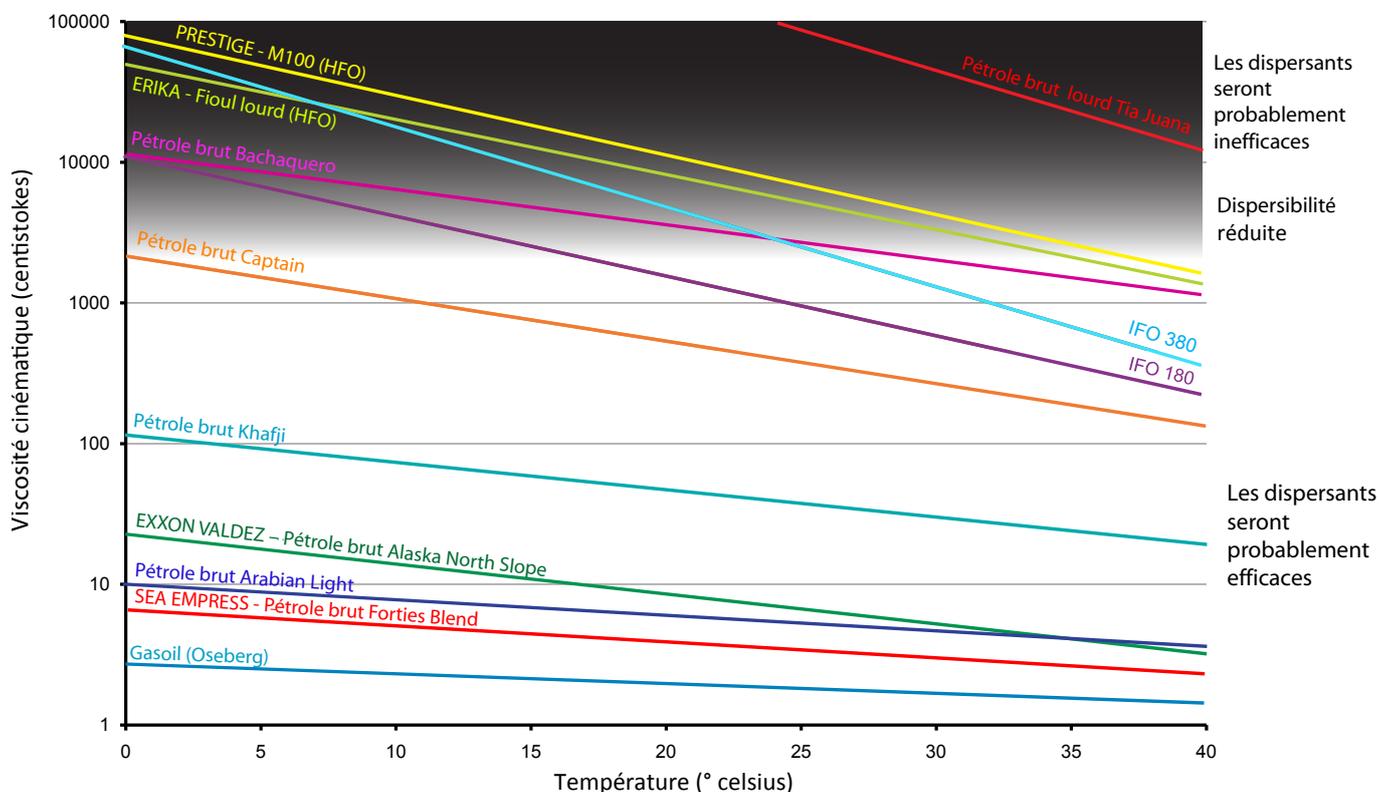
Les caractéristiques de l'hydrocarbure et leur évolution sous l'effet du processus de vieillissement en mer sont importantes pour déterminer la probabilité d'efficacité d'un traitement au dispersant. La viscosité et le point d'écoulement d'un hydrocarbure sont deux propriétés qui donnent une bonne indication de sa dispersibilité.

L'efficacité du dispersant diminue au fur et à mesure que la viscosité de l'hydrocarbure augmente (Figures 3 et 4). Les pétroles bruts légers à moyens frais (du groupe 2 ou 3, décrits dans notre Guide d'Informations Techniques consacré au devenir des hydrocarbures en mer) sont généralement considérés comme facilement

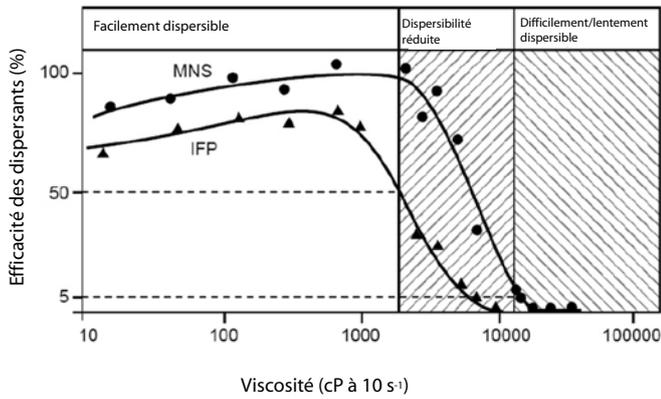
dispersibles pour la plupart des températures océaniques. Les hydrocarbures plus lourds (groupe 4) atteindront probablement la limite au-delà de laquelle la dispersion n'est plus possible. À titre indicatif, la plupart des dispersants seront probablement inefficaces sur des hydrocarbures d'une viscosité supérieure à 5 000 – 10 000 centistokes (cSt) au moment du déversement. La viscosité d'un hydrocarbure déversé augmente sous l'effet du vieillissement, et principalement des phénomènes d'évaporation et d'émulsification. Ainsi, des hydrocarbures dispersibles frais risquent de ne plus l'être ultérieurement. En raison de l'altération des propriétés des hydrocarbures causée par le vieillissement, le moment propice pour un traitement efficace au dispersant est limité. Ce « créneau favorable » varie habituellement de quelques heures à quelques jours en fonction du type d'hydrocarbure concerné et des conditions ambiantes.

De même, parce que les hydrocarbures à point d'écoulement supérieur à la température ambiante sont généralement transportés chauffés, leur viscosité augmente rapidement en cas de déversement, au fur et à mesure qu'ils refroidissent. Dans de nombreux cas, ils atteignent un état semi-solide. En règle générale, les hydrocarbures à point d'écoulement proche ou supérieur à la température à la surface de la mer ne sont pas dispersibles.

Les hydrocarbures à forte viscosité, y compris ceux à point d'écoulement élevé, ne se dispersent pas facilement – ni naturellement, ni après traitement au dispersant – car leur résistance mécanique empêche le détachement de petites gouttelettes sous la nappe. Les dispersants sont aussi généralement inefficaces sur ces hydrocarbures parce qu'ils ne sont pas capables de les pénétrer avant d'être emportés par les vagues et perdus sous la nappe. Ce phénomène est caractérisé par un panache blanc (Figure 5) qui se distingue clairement d'une dispersion réussie (Figure 6). La formulation des dispersants fait l'objet de recherches



▲ Figure 3 : Rapport entre la viscosité de l'hydrocarbure et la température de la mer pour 10 hydrocarbures. Le graphe ne tient pas compte des hausses de la viscosité dues à l'émulsification. Les hydrocarbures à haute viscosité, y compris les fiouls déversés de l'ERIKA (France, 1999) et du PRESTIGE (Espagne, 2002), ne sont généralement pas dispersibles. De nombreux pétroles bruts, y compris ceux déversés du SEA EMPRESS (Pays de Galles, 1996) et de l'EXXON VALDEZ (Alaska, 1989), sont généralement dispersibles. Les produits plus légers, comme le gasoil, se dispersent (et s'évaporent) généralement facilement sans recours à des dispersants.



▲ *Figure 4 : Rapport entre l'efficacité du dispersant et la viscosité de l'hydrocarbure pour divers hydrocarbures et émulsions. Les hydrocarbures dont la viscosité est de l'ordre de 5 000 à 10 000 centipoise deviennent plus difficiles à disperser. Au-delà de 10 000 cP, ils ne sont généralement pas dispersibles. Les deux courbes de tendance résultent de l'utilisation de protocoles MNS (MacKay, Nadeau, Steelman) et IFP (Institut Français du Pétrole) différents. (centipoise = centistokes x densité) (Graphe reproduit avec la permission du SINTEF).*

constantes visant à étendre la plage de viscosité et à améliorer leur efficacité sur les hydrocarbures plus visqueux. Par exemple, les gels dispersants en cours de développement prolongeront le contact avec l'hydrocarbure et favoriseront la pénétration du solvant.

Certains hydrocarbures sont particulièrement prédisposés à la formation d'émulsions eau dans l'huile [particulièrement ceux qui ont une teneur asphalténique relativement élevée (>0,5 %) et une concentration de nickel/vanadium de plus de 15 parties par million (ppm)]. Cependant, si l'émulsion n'est pas stable, les dispersants concentrés sont parfois capables de la fractionner, ce qui libère l'eau et permet à l'huile relativement liquide d'être dispersée au moyen d'une deuxième application de dispersant. Des plaques d'huile pure réfléchissantes indiquent que l'émulsion a bien été fractionnée.

Les produits légers, comme le diesel, l'essence et le kérosène, ne forment pas facilement d'émulsions. Ils s'étalent en films très minces ou en irisations à la surface de l'eau, qui s'évaporent ou se dissipent rapidement sans nécessiter de dispersants. Indépendamment de ces facteurs, l'application de dispersants sur des produits légers ou sur des irisations dérivées d'un pétrole brut ou d'un fioul n'est pas conseillée car les gouttelettes de dispersant ont tendance à s'enfoncer à travers le film mince, à pénétrer



▲ *Figure 5 : Le traitement inefficace d'un fioul lourd au dispersant est caractérisé par un panache blanc dans l'eau. L'hydrocarbure n'est pas affecté.*

dans l'eau située sous la nappe et à causer la « répulsion » de l'hydrocarbure. La répulsion du film d'huile crée une zone d'eau claire qui ne devrait pas être confondue avec le phénomène de dispersion (Figure 7). Les dispersants formulés pour être utilisés avec les huiles minérales se sont avérés n'avoir que peu d'effet, voire aucun, sur les huiles non minérales comme l'huile de palme ou l'huile de colza.

Choix de dispersant

Les dispersants sont fabriqués selon différentes formulations, et leur efficacité varie en fonction du type d'hydrocarbure. Des essais en laboratoires sont parfois effectués pour évaluer l'efficacité d'un dispersant par rapport à un autre pour un hydrocarbure particulier. En outre, certains pays exigent des exploitants d'installations de production d'hydrocarbures et de terminaux pétroliers, lorsque les types d'hydrocarbures produits et manipulés sont connus, qu'ils entreprennent des études visant à déterminer le dispersant le plus efficace pour les hydrocarbures concernés. Il convient toutefois d'exercer une certaine prudence dans l'extrapolation des résultats de ces études pour prévoir la quantité d'hydrocarbure qui sera dispersée en mer, car une reproduction exacte des conditions en mer est difficile en laboratoire. À des fins de planification, un dosage de 1:20 (dispersant concentré de type 3/hydrocarbure) est généralement utilisé et l'équipement d'épandage est souvent préconfiguré pour ce résultat. Dans certains cas, ce dosage peut être réduit pour des hydrocarbures frais et, inversement, accru pour les hydrocarbures visqueux ou émulsionnés, nécessitant éventuellement plus d'une application.

Conflits avec d'autres méthodes de lutte antipollution

En cas d'accident important, toutes les opérations de lutte antipollution doivent être coordonnées pour veiller à ce que le traitement au dispersant ne fasse pas double usage ou ne soit pas incompatible avec les autres techniques. Par exemple, un hydrocarbure dispersé dans la colonne d'eau ne peut pas être confiné par des barrages ni récupéré par des écrémeurs. Par ailleurs, l'hydrocarbure, en raison de sa tension superficielle relative, adhère à un grand nombre de matières absorbantes, telles que le polypropylène. Étant donné que la tension superficielle de l'hydrocarbure est modifiée par les dispersants, ces derniers peuvent considérablement nuire à l'efficacité des matières absorbantes. Le même effet sera produit sur les récupérateurs oléophiles s'ils sont utilisés en conjonction avec des dispersants.



▲ *Figure 6 : Dispersion commençant après application sur du pétrole brut Forties lors de la marée noire du SEA EMPRESS. (Image reproduite avec l'autorisation d'AEA Technology).*



▲ Figure 7 : Application de dispersant sur une irisation au moyen de rampes d'épandage montées sur navire, entraînant la « répulsion » de l'hydrocarbure au lieu de sa dispersion.



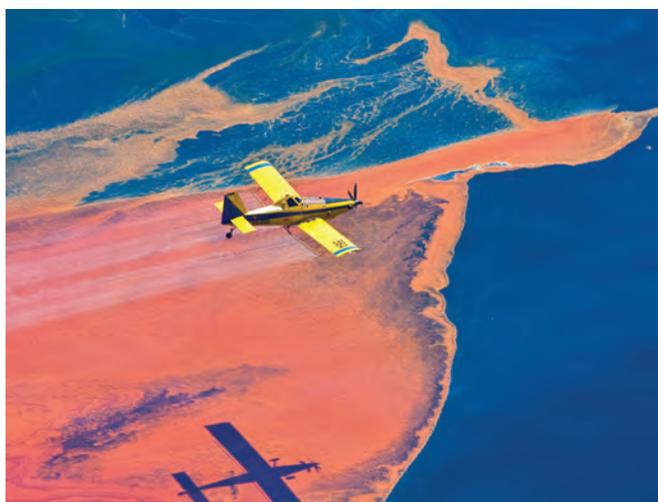
▲ Figure 8 : Application de dispersant au moyen de canons incendie à bord d'un remorqueur, montrant une répartition inégale du dispersant et l'effet du vent.

Méthodes d'application

Les dispersants peuvent être appliqués par navire ou par aéronef sur des hydrocarbures déversés en haute mer. Les grands avions multimoteur présentent des avantages au niveau de la charge utile pour le traitement d'importants déversements au large. En revanche, les navires, les hélicoptères et les avions légers peuvent convenir pour le traitement de déversements moins importants plus près du littoral.

Il est impératif que les systèmes d'épandage de dispersant pulvérisent des gouttelettes de la taille correcte. Celles-ci doivent être suffisamment grosses pour résister aux effets de la dérive et de la perte par évaporation mais non pas au point de s'enfoncer dans l'hydrocarbure au lieu de migrer vers l'interface entre l'hydrocarbure et l'eau. La taille optimale d'une gouttelette de dispersant est de l'ordre de 600 à 800 µm de diamètre.

L'épandage de dispersant sur l'eau ou sur une irisation est inefficace et gaspille des ressources coûteuses. Par conséquent, la partie la plus épaisse de la nappe doit être rapidement ciblée, avant que le vieillissement de l'hydrocarbure ou l'altération de l'état de la mer ne rende les dispersants inefficaces.



▲ Figure 9 : Avion de travail Air Tractor, équipé d'un système de rampe d'épandage sous ailes, à l'œuvre sur du pétrole brut déversé d'une plateforme offshore. (Image reproduite avec l'autorisation de Mark Hamilton Photography).

Épandage par navire

Les dispersants épandus par navire sont généralement appliqués au moyen de buses montées sur des rampes d'épandage (Figure 7). Des pompes diesel ou électriques transfèrent le dispersant d'un réservoir vers la rampe d'épandage, dotée d'une série de buses calibrées de manière à produire un jet uniforme de gouttelettes le long de la rampe. Les rampes d'épandage peuvent être escamotables ou fixées en permanence sur un navire. Certains systèmes sont prévus pour l'utilisation de dispersant soit pur, soit dilué à l'eau de mer.

L'efficacité des rampes d'épandage est optimisée par un montage le plus en avant possible sur la proue, pour éviter que la vague d'étrave ne pousse l'hydrocarbure au-delà de la largeur de la bande d'épandage. Un montage sur la proue permet au navire d'avancer plus vite et, parce que le franc-bord est souvent plus important en proue, d'avoir des rampes d'épandage plus longues. La probabilité de rencontre, c'est-à-dire la quantité d'hydrocarbure pouvant être traitée, est ainsi optimisée avec une charge de dispersant limitée. Cependant, des rampes trop longues risquent d'être endommagées lorsque le navire roule dans la houle.

Des lances ou des canons incendie (Figure 8) sont parfois utilisés



▲ Figure 10 : Application de dispersant par un avion multimoteur. Ici, l'application en eaux peu profondes a été jugée bénéfique.



▲ Figure 11 : Système d'épandage hélicoptéré approchant un déversement de fioul récent. Pour être efficace, une application à plus basse altitude serait nécessaire. (Image reproduite avec l'autorisation de la garde-côtière indienne).

pour appliquer des dispersants concentrés dilués dans le jet d'eau. Une dilution optimale du dispersant est cependant difficile à obtenir en raison des très hauts débits et l'application du dispersant sous forme de pulvérisation homogène de gouttelettes devient elle aussi problématique. Par ailleurs, la haute pression du jet d'eau pourrait également forcer le dispersant à travers l'hydrocarbure. Les canons incendie risquent ainsi d'entraîner un gaspillage de dispersant et une application inefficace à moins d'être spécialement modifiés pour cet usage.

Les navires offrent des avantages pour l'épandage de dispersants parce qu'ils sont généralement disponibles, faciles à charger et capables d'application relativement précise sur des zones spécifiques d'une nappe. Ils sont également moins coûteux que les aéronefs et peuvent transporter des charges plus importantes. Leurs limitations n'en sont pas moins très contraignantes, particulièrement dans le cas des grandes nappes : le taux de traitement reste faible et il est difficile de localiser les plus fortes concentrations d'hydrocarbure à partir d'un navire. Ce dernier problème peut toutefois être partiellement surmonté en dirigeant l'opération depuis un aéronef de guidage.

Épandage par voie aérienne

L'application de dispersants par voie aérienne présente comme avantages une intervention rapide, des taux de traitement élevés et un usage optimum du dispersant. En termes généraux, trois catégories d'avions sont utilisées : ceux conçus pour les opérations agricoles ou de lutte antiparasitaire (Figure 9), qui nécessitent une adaptation mineure pour l'application de dispersant, ceux qui ont été adaptés spécifiquement pour l'application de dispersants et les avions-cargo avec réservoirs modulaires (Figure 10). Certains hélicoptères ont été équipés de rampes d'épandage fixes tandis que d'autres sont utilisés avec des systèmes d'épandage hélicoptérés, généralement sans qu'aucune modification majeure ne soit nécessaire (Figure 11). Les hélicoptères peuvent potentiellement se réapprovisionner en dispersant à partir d'un navire ou d'une plateforme pétrolière offshore pour les opérations au large.

Si l'aéronef idéal pour un accident donné est principalement dicté

par l'ampleur et l'emplacement du déversement, la disponibilité locale d'un type d'appareil ou d'un autre est déterminante. Les aéronefs doivent être capables d'opérer en sécurité à basse altitude (généralement 15 à 30 mètres pour les plus gros avions) et à des vitesses relativement faibles (25 à 75 m/s) et doivent être très maniables. La consommation de carburant, la charge utile, la distance entre le déversement et la base d'opérations, les temps de rotation et l'adaptabilité à des pistes d'atterrissage courtes ou improvisées sont autant de considérations importantes dans le choix d'un aéronef.

Les dispersants de type 3 conviennent le mieux à l'épandage par voie aérienne car le faible dosage (généralement 1:20 dispersant/hydrocarbure) exploite le mieux la charge utile limitée. Ces systèmes d'épandage sont constitués d'une pompe qui transfère le dispersant, à un taux contrôlé, d'un réservoir vers les rampes d'épandage fixées sur l'aéronef. Le dispersant est distribué soit à travers des buses à pression soit par des unités tournantes actionnées par le vent et régulièrement espacées le long de la rampe d'épandage, étudiées pour produire des gouttelettes de dispersant de taille optimale. Les deux types d'unité de distribution peuvent être utilisés sur la plupart des avions légers et des hélicoptères. Les plus gros avions utilisent des buses à pression.

Application sur le littoral

Lorsque les accumulations d'hydrocarbure ont été récupérées sur les littoraux pollués, des dispersants sont parfois utilisés comme agents nettoyants. Ils permettent ainsi d'éliminer le restant d'hydrocarbures des surfaces dures, dont les rochers, les ouvrages de protection et autres structures bâties. Ils sont généralement appliqués au moyen de pulvérisateurs à dos, puis incorporés dans l'hydrocarbure par brossage vigoureux avant d'être lessivés à l'eau de mer. Parce que l'hydrocarbure dispersé ne peut pas être récupéré, lorsque l'usage de dispersant sur le littoral est approuvé, il est généralement limité aux zones de faible importance environnementale mais à forte valeur d'agrément. Des agents spécifiquement formulés pour le nettoyage du littoral peuvent aussi être utilisés bien que leur mode de fonctionnement diffère de celui des dispersants car il prévoit la récupération de l'hydrocarbure libéré. Des dégraissants sont souvent transportés à bord de navires pour le nettoyage de la salle des machines mais la plupart sont plus toxiques que les dispersants. Ils ne devraient pas être employés comme dispersants en mer ou agents de nettoyage du littoral.

Taux d'application

Pour calculer le taux d'application approprié, les proportions de dispersant par rapport à l'hydrocarbure requises pour une dispersion efficace doivent être déterminées. Elles peuvent varier de 1:1 pour les dispersants de type 1, à 1:50 pour les dispersants de type 3, selon la méthode d'application, le type de dispersant, le type d'hydrocarbure et les conditions qui prévalent. Le taux d'application peut être calculé en deux étapes, comme suit :

1. Estimation du volume d'hydrocarbure à traiter basée sur les observations et les hypothèses concernant l'épaisseur moyenne et la superficie de la nappe.
2. Calcul de la quantité de dispersant nécessaire pour obtenir le dosage requis (proportions dispersant/hydrocarbure)

On a constaté que bien qu'il existe d'importantes variations d'épaisseur d'hydrocarbure dans une nappe, la plupart des pétroles bruts s'étalent en quelques heures, de telle sorte que l'épaisseur globale moyenne est de 0,1 mm (10^{-4} m). Cette épaisseur est souvent utilisée comme point de départ pour la planification des

opérations et correspond au volume d'hydrocarbure par hectare (10 000 mètres carrés, 10⁴m²) de :

$$10^{-4}\text{m} \times 10^4\text{m}^2 = 1\text{m}^3 \text{ ou } 1\ 000 \text{ litres}$$

Des conseils complémentaires sur l'estimation des quantités d'hydrocarbure sont donnés dans le Guide d'Informations Techniques de l'ITOPF consacré à l'observation aérienne des hydrocarbures.

Pour un dosage de 1:20, la quantité de dispersant requise serait :

$$\text{Quantité de dispersant} = 1\ 000 \text{ litres d'hydrocarbure} / 20 = 50 \text{ litres.}$$

Par conséquent, le taux d'application serait de 50 litres/hectare (4,5 gallons impériaux/acre). Ce débit de sortie peut être calculé en multipliant le taux d'application (litre/m²) par la vitesse de l'avion ou du navire (m/s) et la largeur de la bande d'épandage (m).

Par exemple, pour réaliser un taux d'application de 50 litres/hectare (0,005 litre/m²) à partir d'un avion avançant à une vitesse de 45 m/s (90 nœuds) avec une bande balayée de 15 mètres, le débit de sortie devrait être :

$$\text{Débit de sortie} = 0,005 \text{ litre/m}^2 \times 15 \text{ m} \times 45 \text{ m/s} = 3,37 \text{ litres/s (ou environ 200 litres/minute).}$$

Ainsi, pour obtenir un débit de dose de 1:20 et disperser une nappe de 0,1 mm d'épaisseur, le débit de sortie de la pompe du système d'épandage devrait être de 200 litres par minute. Le même calcul peut être effectué pour déterminer le débit d'épandage pour l'application par navire.

En raison des importantes variations d'épaisseur d'hydrocarbure à l'intérieur d'une nappe, il est impossible d'évaluer le dosage optimal avec précision dans la pratique. La meilleure solution consiste à cibler les parties les plus épaisses de la nappe. Des taux d'application de l'ordre de 50 litres par hectare, calculés selon la formule ci-dessus, se sont avérés appropriés dans de nombreuses situations mais peuvent éventuellement nécessiter d'être ajustés pour compenser les différences entre les types d'hydrocarbure et les conditions environnementales pouvant exercer une influence supplémentaire sur l'épaisseur de la nappe. Le taux d'application peut être ajusté en modifiant le débit de sortie des pompes ou la vitesse du navire ou de l'aéronef. Les estimations du volume de dispersant requis pour traiter une nappe doivent également tenir compte de la précision avec laquelle les plus fortes accumulations d'hydrocarbure peuvent être ciblées, et prévoir une marge en cas d'épandage excessif.

Logistique et contrôle

L'application de dispersant est une opération spécialisée. Elle exige l'intervention d'opérateurs compétents et une préparation minutieuse veillant à ce que tout le support logistique soit en place. Pour que les opérations soient le plus efficaces possible, il est souhaitable d'utiliser un aéronef de guidage pour orienter et coordonner les navires et les aéronefs épandeurs. Son équipage doit être capable de localiser les plus fortes concentrations d'hydrocarbures ou les nappes qui présentent la plus grave menace. Ils doivent pouvoir communiquer clairement avec les équipages des aéronefs ou des navires épandeurs pour les guider jusqu'à la cible et, dans le cas des aéronefs, pour localiser les points auxquels l'épandage devrait commencer et s'arrêter afin de minimiser le risque d'épandage excessif et de gaspillage de dispersant. Pendant l'opération d'épandage proprement dite, les aéronefs de guidage peuvent aussi

être utilisés pour juger de la précision d'application et de l'efficacité du traitement. Ces fonctions sont particulièrement importantes lorsqu'il s'agit de guider des avions multimoteur capables d'appliquer rapidement d'importants volumes de dispersant. Aux basses altitudes requises pour une application efficace, l'équipage aura du mal à distinguer l'hydrocarbure, l'irisation et l'eau, particulièrement si la nappe est fragmentée.

Par souci de sécurité, des zones d'exclusion aérienne doivent être imposées pendant les opérations d'épandage aérien. Des équipages de relève peuvent être nécessaires car voler au-dessus de la mer à basse altitude peut être extrêmement pénible. Des inspections périodiques des aéronefs sont également recommandées pour veiller à ce que le dispersant ne contamine pas les lubrifiants, particulièrement dans le rotor de queue des hélicoptères, ou qu'il n'attaque pas les pièces en caoutchouc exposées des systèmes de pilotage des aéronefs. Un lavage fréquent des aéronefs à l'eau douce est conseillé pour éliminer les éclaboussures de dispersant et d'eau salée.

Une bonne organisation au sol est nécessaire pour permettre aux opérations d'épandage de se poursuivre aussi longtemps que possible de jour. Cela peut exiger que l'entretien régulier des aéronefs et de l'équipement d'épandage soit effectué de nuit. Il est peu probable qu'une seule charge sera suffisante pour traiter une nappe, surtout en cas de rejet continu. Par conséquent, des stocks supplémentaires de dispersant doivent être disponibles et positionnés à des emplacements appropriés afin que les navires ou les aéronefs puissent être réapprovisionnés le plus vite possible. De même, il convient de penser au ravitaillement en carburant, pour les aéronefs en particulier, ainsi qu'à l'équipement nécessaire pour charger les navires ou les aéronefs (ex. pompes à haute capacité et camions-citernes).

Pour le stockage à long terme de dispersants, des bidons ou des cuves en plastique (Figure 12) sont préférables. À condition qu'ils ne soient pas directement exposés au soleil, les dispersants stockés dans des récipients non ouverts devraient durer de nombreuses années. Cependant, une fois le récipient ouvert, le dispersant devrait être analysé périodiquement pour s'assurer qu'il n'a pas perdu de son efficacité. Les fabricants recommandent une inspection visuelle annuelle ainsi qu'un contrôle des principales caractéristiques physiques, dont la densité, la viscosité et le point d'éclair du produit. Si des modifications significatives de ces paramètres se manifestent ou si la date d'expiration est dépassée, un test d'efficacité en laboratoire doit être effectué. Des dispersants de différents types, âges ou marques ne devraient pas être mélangés dans le même



▲ Figure 12 : L'utilisation de cubitainers d'1 m³ permet le stockage et la maintenance du dispersant sans difficultés. (Image reproduite avec l'autorisation de l'USCG).

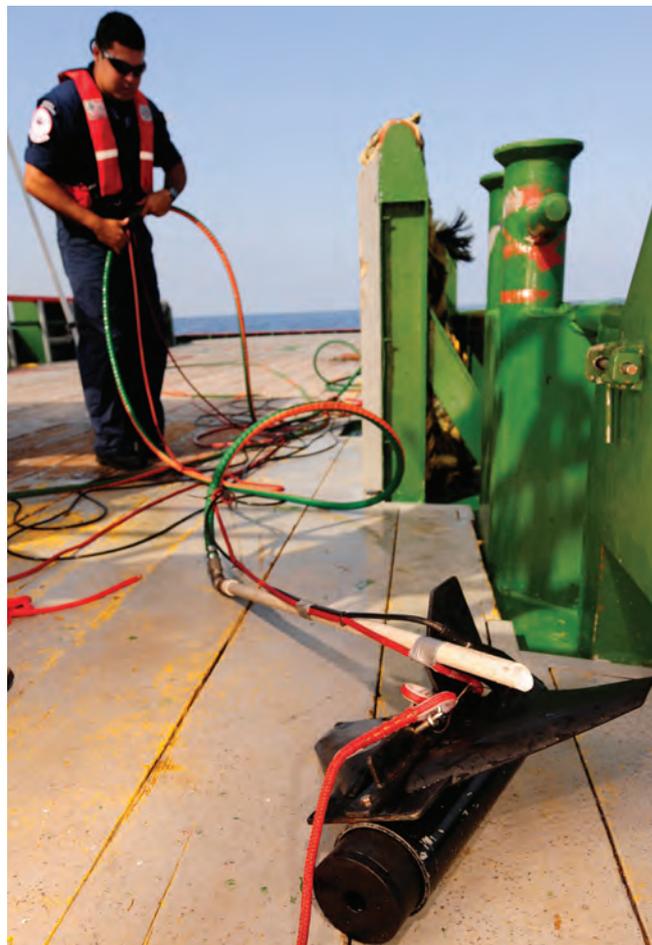
réservoir ou récipient de stockage au risque d'altérer la viscosité du produit ou encore de causer la précipitation ou la coagulation de certains composants. Les dispersants ne devraient pas être stockés après avoir été dilués à l'eau de mer. La température de stockage optimale pour les dispersants est de -15 °C à 30 °C et les fabricants recommandent de minimiser les fluctuations de température pendant le stockage. Par températures atmosphériques très basses, certains dispersants risquent de devenir trop visqueux pour passer par les buses de pulvérisation.

Suivi de l'efficacité des dispersants

L'efficacité de la dispersion chimique doit faire l'objet d'un suivi continu et l'intervention doit cesser dès que le dispersant n'a plus d'effet. L'observation visuelle de l'efficacité est essentielle mais risque d'être compromise par mauvais temps, dans des eaux très chargées en sédiments, lorsque l'hydrocarbure dispersé est de couleur claire et par mauvaise luminosité. Il va sans dire que l'épandage et l'observation visuelle de nuit sont irréalisables.

Pour être utile, une application de dispersant sur un hydrocarbure en mer doit intervenir relativement rapidement après son déversement afin de réduire le risque que l'hydrocarbure n'atteigne le littoral et les ressources sensibles. Un changement d'aspect devrait être visible en aéronef peu après l'épandage. L'absence de modifications de l'aspect de l'hydrocarbure, l'absence de réduction de la pollution, ou la formation d'un panache de couleur laiteuse dans l'eau autour de la nappe (Figure 5) sont autant d'indications que le dispersant est sans effet. De même, si l'hydrocarbure s'est largement étalé ou fragmenté, l'application de dispersant risque de ne pas éliminer de la surface de l'eau en quantités suffisantes pour permettre une réduction des dommages significative.

L'efficacité peut également être suivie en utilisant des données « en temps réel » sur la concentration d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau, obtenues par fluorimétrie UV. Un ou plusieurs fluorimètres (Figure 13) sont remorqués derrière un bateau échantillonneur à des profondeurs de plus d'un mètre sous la nappe, pour mesurer les variations de concentration d'hydrocarbure. La dispersion est démontrée par une hausse significative de la concentration d'hydrocarbure relevée par le capteur par rapport à la concentration mesurée préalablement à l'application du dispersant (Figure 14). La fluorimétrie UV ne peut cependant pas mesurer précisément la quantité d'hydrocarbure dispersé dans la colonne

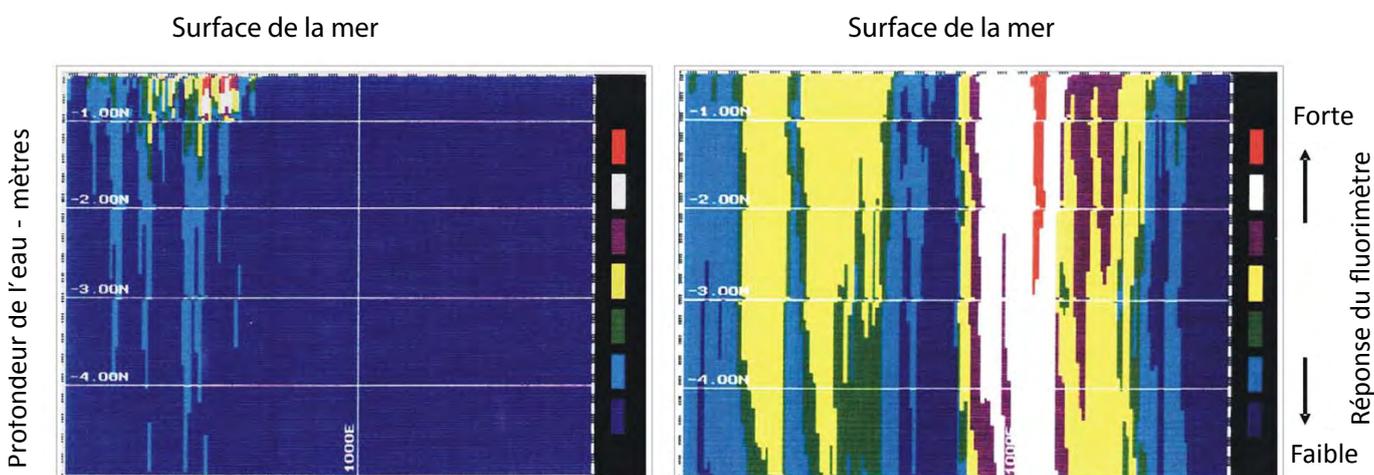


▲ Figure 13 : Préparation d'un fluorimètre remorqué pour mesurer l'efficacité du dispersant en mer. (Image reproduite avec l'autorisation de l'USCG).

d'eau et devrait être utilisée en conjonction avec l'observation visuelle pour décider si une intervention utile peut être menée.

Considérations environnementales

L'usage de dispersants peut prêter à controverse, et fait parfois polémique dans les médias et les tribunes publiques. Leur utilisation est considérée par certains comme un moyen de minimiser les impacts potentiels sur les ressources sensibles en empêchant ou en



▲ Figure 14 : Réponse du fluorimètre à un hydrocarbure dans une profondeur d'eau de 0,5 à 5 mètres sous une nappe de surface avant (gauche) et quelques minutes après l'application d'un dispersant (droite). L'hydrocarbure se disperse et se dilue après le traitement. (Illustrations reproduites avec l'autorisation d'AEA Technology).



▲ *Figure 15 : L'utilisation de dispersant peut aider à protéger les oiseaux marins vulnérables en éliminant rapidement les hydrocarbures de la surface de la mer.*

réduisant la contamination du littoral, mais par d'autres comme une pollution de plus infligée à l'environnement. En dépit des améliorations apportées à la formulation des dispersants, la toxicité du mélange dispersant/hydrocarbure pour la faune et la flore marines est souvent la principale préoccupation environnementale. Certains pays sont préoccupés par la facilité de biodégradation des dispersants, et des études sont en cours. Les procédures d'approbation de l'usage de dispersants en vigueur dans de nombreux pays sont conçues de manière à tenir compte à la fois de l'efficacité et de la toxicité. Étant donné que des produits approuvés dans un pays peuvent ne pas l'être dans un autre, la liste nationale des produits autorisés, si elle existe, devrait être consultée au préalable.

Après une application de dispersant en haute mer, des concentrations accrues d'hydrocarbure sont normalement observées uniquement dans les couches supérieures de la colonne d'eau (<10 mètres) mais sont rapidement réduites par dilution, sous l'effet de l'agitation de l'eau. Des études menées sur des pétroles bruts ont montré qu'immédiatement après l'application de dispersant, des concentrations d'hydrocarbure de l'ordre de 30 à 50 ppm peuvent être attendues dans l'eau juste au-dessous de la nappe, qui sont réduites à 1 à 10 ppm dans les 10 mètres supérieurs de la colonne d'eau après quelques heures. On parle ainsi d'exposition « aigüe » plutôt que « chronique » des organismes marins et le temps d'exposition limité diminue la probabilité d'effets délétères au long terme. L'épandage de dispersants sur les eaux peu profondes est toutefois déconseillé à moins qu'un échange d'eau suffisant n'assure une dilution adéquate du panache d'hydrocarbure dispersé.

Une estimation du potentiel de dilution est un préalable utile pour décider de l'utilisation des dispersants afin de protéger certaines ressources sans risques inconsidérés pour d'autres. Les facteurs pertinents à prendre en compte dans l'estimation des pics de concentration et de leur durée sont la profondeur de l'eau, la quantité d'hydrocarbure par unité de surface, la distance entre le site d'application et les zones sensibles, ainsi que la direction et la vitesse des courants.

En éliminant l'hydrocarbure de la surface de l'eau, les dispersants minimisent le risque de contamination des oiseaux marins (Figure 15) et des littoraux sensibles, tels que les marais salants, les mangroves et les plages touristiques. Or, les hydrocarbures éliminés de la surface sont transférés dans la colonne d'eau, ce qui nécessite de mettre en balance le risque de dommages causés par l'hydrocarbure dispersé et les avantages de son élimination



▲ *Figure 16 : L'utilisation de dispersant dans des zones sensibles comme les récifs coralliens n'est pas préconisée, sauf dans des circonstances spéciales et après étude approfondie des conséquences environnementales potentielles.*

de la surface. Dans le cas de nombreuses espèces de poissons pélagiques, leur risque d'exposition est réduit par leur aptitude naturelle à détecter et éviter les hydrocarbures dans la colonne d'eau. En revanche, parce que les coraux (Figure 16), les phanérogames marines et les frayères peuvent être très sensibles aux hydrocarbures dispersés, l'utilisation de dispersants n'est pas recommandée si ces ressources risquent d'être affectées. De même, l'utilisation de dispersants n'est pas préconisée dans le voisinage des parcs piscicoles, des gisements de coquillages ou autres installations de ce type en eau peu profonde, en raison du risque accru d'altération organoleptique des stocks. L'utilisation de dispersants à proximité de prises d'eau industrielles n'est pas conseillée à cause du risque accru de pénétration des hydrocarbures dans ces prises d'eau.

La décision d'utiliser ou non des dispersants est rarement simple et exige de trouver le bon équilibre entre les avantages et limitations des différentes options de lutte antipollution (y compris les processus naturels), le rapport coût-efficacité et les conflits d'intérêt relatifs à la protection de différentes ressources contre les dommages par la pollution. Dans de nombreux cas, une évaluation équilibrée des avantages environnementaux et économiques nets sera nécessaire, en concertation avec les autorités nationales, préalablement à l'application. Le temps disponible pour l'utilisation de dispersants sera probablement limité à la fois par le vieillissement de l'hydrocarbure et par sa dérive vers des ressources sensibles. Pour éviter les retards au moment du déversement, la décision quant à l'utilisation ou non de dispersants et, le cas échéant, quant aux circonstances précises dans lesquelles ils peuvent être utilisés, doit être convenue pendant le processus de planification des interventions d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures.

Planification des interventions d'urgence

Les facteurs à prendre en compte pendant le processus de planification d'urgence sont, entre autres, les types d'hydrocarbures susceptibles d'être impliqués dans un déversement, l'efficacité du dispersant sur ces types d'hydrocarbures, les ressources sensibles présentes dans la zone et le support logistique. La logistique concerne principalement l'emplacement et la disponibilité de dispersants, d'équipement d'épandage, de navires, de pistes d'atterrissage et de capacité de ravitaillement en carburant, ainsi que les procédures douanières pour tout support international éventuellement requis en cas d'accident majeur. Les cartes des zones vulnérables sont

particulièrement utiles pour indiquer quand et où des dispersants peuvent ou non être utilisés, car elles peuvent révéler les influences saisonnières sur la sensibilité. Par exemple, des oiseaux migrateurs seront présents à certaines périodes de l'année et une dérogation aux restrictions d'utilisation de dispersants dans les eaux peu profondes peut être envisagée pour permettre le traitement et réduire le risque de contact entre les oiseaux et les hydrocarbures flottants (Figure 17). Il convient également de réfléchir aux sources de financement pour le maintien d'une capacité de lutte antipollution au dispersant efficace. L'aboutissement de ces discussions devrait être documenté clairement dans un plan d'intervention d'urgence.

Dans de nombreux pays, les règlements nationaux exigent que l'utilisation de dispersant soit approuvée par l'autorité nationale compétente. Pour les acteurs de la lutte antipollution, une connaissance des politiques en matière d'utilisation de dispersants est importante en raison des conflits et des amendes possibles en cas d'utilisation de dispersants sans accord préalable ou en contravention des règlements nationaux. Certains pays tiennent une liste des dispersants dont l'utilisation a été approuvée suite à des tests d'efficacité et de toxicité. L'autorité compétente peut également accorder des agréments préalables aux installations de manutention des hydrocarbures ou aux installations portuaires, qui leur permettent d'utiliser des dispersants sans autre consultation, à condition de remplir certains critères.

La formation et les exercices d'entraînement sont des éléments essentiels de la planification de l'utilisation de dispersants. Les équipages opérationnels doivent recevoir une formation complète à l'application des dispersants et à la sécurité. Des exercices pratiques de mobilisation des ressources et de déploiement de l'équipement d'épandage doivent être effectués régulièrement.



▲ Figure 17 : Des atlas de sensibilité sont souvent utilisés dans les plans d'intervention d'urgence pour indiquer où et quand les dispersants peuvent être appliqués. Dans l'exemple, l'utilisation de dispersant est interdite dans la zone rouge en raison de l'activité de pêche commerciale tout au long de l'année. Elle est toutefois pré-approuvée de manière saisonnière autour d'une colonie d'oiseaux sur Pelican Island (bleu). L'utilisation en eaux peu profondes, à proximité de la terre, peut être autorisée dans des circonstances spéciales, par exemple pour protéger les mangroves ou les marais.

L'essentiel

- Les dispersants accélèrent la fragmentation naturelle des hydrocarbures, les éliminant de la surface de l'eau pour les transférer à la colonne d'eau sous forme de multiples gouttelettes qui sont ensuite rapidement diluées puis finalement biodégradées.
- La plupart des dispersants sont incapables de disperser les hydrocarbures très visqueux et les émulsions stables.
- L'épandage de dispersant sur une irisation d'hydrocarbure est inefficace et déconseillée.
- Pour la plupart des pétroles bruts et certains fiouls déversés en mer, le créneau pendant lequel l'utilisation d'un dispersant sera efficace est étroit ; une réponse rapide et bien planifiée est donc essentielle.
- Tandis que les navires conviennent aux petits déversements d'hydrocarbures à proximité des ports, les avions multimoteur de grande capacité permettent une intervention potentiellement plus efficace pour les déversements majeurs au large.
- En haute mer, les observations montrent que les concentrations d'hydrocarbure dispersé dans la colonne d'eau diminuent en quelques heures pour atteindre des niveaux inférieurs à ceux susceptibles de causer des effets délétères au long terme sur les organismes marins.
- Les dispersants peuvent, rapidement et efficacement, minimiser les dommages causés par la pollution aux animaux présents à la surface, dont les oiseaux marins, ainsi qu'aux ressources côtières sensibles, telles que les mangroves.
- L'application de dispersant devrait être évitée lorsque le panache d'hydrocarbure dispersé risque d'être nuisible à des ressources sensibles comme les coraux, les bancs de coquillages ou les prises d'eau industrielles.
- Un plan d'intervention d'urgence bien préparé et répété, ainsi qu'une politique claire en matière de dispersants autorisés, augmentent considérablement les chances de succès des opérations de traitement au dispersant.

GUIDES D'INFORMATIONS TECHNIQUES

- 1 Observation aérienne des déversements d'hydrocarbures en mer
- 2 Devenir des déversements d'hydrocarbures en mer
- 3 Utilisation des barrages dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures
- 4 Utilisation des dispersants dans le traitement des déversements d'hydrocarbures
- 5 Utilisation des récupérateurs dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures
- 6 Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux
- 7 Nettoyage des hydrocarbures sur les littoraux
- 8 Utilisation de matériaux absorbants dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures
- 9 Traitement et élimination des hydrocarbures et des débris
- 10 Direction, commandement et gestion des déversements d'hydrocarbures
- 11 Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les pêches et la mariculture
- 12 Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les activités sociales et économiques
- 13 Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement
- 14 Échantillonnage et suivi des déversements d'hydrocarbures en mer
- 15 Préparation et soumission des demandes d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures
- 16 Planification d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures en mer
- 17 Intervention en cas d'accident chimique en mer

L'ITOPF est une organisation à but non lucratif, fondée au nom des armateurs du monde entier et de leurs assureurs. Sa mission : contribuer à l'efficacité des interventions de lutte contre la pollution en cas de déversements en mer d'hydrocarbures, de produits chimiques et autres substances dangereuses. De l'intervention d'urgence à la formation, l'éventail de services proposés comprend également l'apport de conseils techniques en matière de nettoyage, l'évaluation des dommages causés par la pollution et l'aide à la préparation de plans d'intervention en cas de déversement. Source d'informations exhaustives sur la pollution marine par les hydrocarbures, l'ITOPF publie ce document dans le cadre d'une série de guides basés sur l'expérience de son personnel technique. L'information qu'il contient peut être reproduite avec la permission expresse préalable de l'ITOPF. Pour tout renseignement complémentaire, merci de vous adresser à :



THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, Royaume-Uni

Tél : +44 (0)20 7566 6999

E-mail : central@itopf.com

Fax : +44 (0)20 7566 6950

Internet : www.itopf.com

24h/24 : +44 (0)7623 984 606