



Lignes directrices pour l'utilisation des dispersants

dans la lutte contre la pollution du milieu marin par les hydrocarbures en Méditerranée

Partie II : Notions de base sur les dispersants et leur application



PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE (PAM)
CENTRE REGIONAL MÉDITERRANÉEN POUR L'INTERVENTION D'URGENCE CONTRE LA POLLUTION MARINE ACCIDENTELLE (REMPEC)





CENTRE REGIONAL MÉDITERRANÉEN POUR L'INTERVENTION D'URGENCE CONTRE LA
POLLUTION MARINE ACCIDENTELLE (REMPEC)

PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE

Lignes directrices pour l'utilisation des dispersants dans la lutte contre la pollution du milieu marin par les hydrocarbures en Méditerranée

Partie II : Notions de base sur les dispersants et leur application

Systeme d'information régional

www.rempec.org

Mai 2011

Note

Ce document est conçu pour faciliter la mise en œuvre, par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone, du Protocole relatif à la coopération en matière de lutte contre la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures et autres substances nuisibles en cas de situation critique, relevant de la Convention de Barcelone (Protocole Situation critique de 1976) et du Protocole relatif à la coopération en matière de prévention de la pollution par les navires et, en cas de situation critique, de lutte contre la pollution de la mer Méditerranée (Protocole Prévention et situation critique de 2002).

Ayant vocation à assister, ces « Lignes directrices » n'affectent en rien les règles ou lois nationales en vigueur ou envisagées traitant de la même problématique. Le REMPEC décline toute responsabilité en cas de conséquences malheureuses pouvant découler de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations contenues dans le présent document.

Les dénominations employées et le contenu du présent document n'impliquent en aucune façon l'expression du point de vue de l'OMI, du PNUE, du PAM et du REMPEC, en ce qui concerne le statu légal de quelque État, Territoire, ville ou zone, ou de ses autorités, ou la délimitation de leurs frontières ou de leurs limites géographiques.

Photos de couverture: © Cedre

1	2	3	<i>Dispositif d'épandage aérien</i>
4			<i>Traitement par voie aérienne</i>
			<i>Opération de surveillance aérienne</i>
			<i>Dispositif d'épandage par navire</i>
5	6		<i>Traitement par voie aérienne</i>
			<i>Traitement par bateau</i>

Ces Lignes directrices sont téléchargeables depuis la section « Documentation / Lignes directrices et manuels régionaux / Préparation à la lutte et lutte » du site du REMPEC (www.rempec.org).

Ce document doit être cité, à des fins bibliographiques, comme suit :

OMI/PNUE : Système régional d'information – Lignes directrices opérationnelles et documents techniques, Lignes directrices pour l'utilisation des dispersants dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures du milieu marin en Méditerranée, REMPEC, Edition avril 2011.

Préface

Dans de nombreux États côtiers de la Méditerranée, il n'existe pas encore de législation spécifique sur l'emploi des dispersants comme moyen de lutte contre les déversements accidentels d'hydrocarbures en mer.

L'utilisation adéquate et contrôlée de dispersants spécifiques sur des types d'hydrocarbures dispersibles chimiquement est largement reconnue comme étant l'une des méthodes de choix pour lutter contre les déversements accidentels d'hydrocarbures, surtout ceux de grande ampleur. En outre, dans certaines conditions océaniques et météorologiques, les dispersants peuvent être la seule et unique méthode de lutte et de protection des ressources naturelles vulnérables et des installations et infrastructures côtières.

Cependant, une attitude opportuniste en matière d'utilisation des dispersants ne saurait être acceptable. La sélection des produits à utiliser, la délimitation des zones où l'utilisation de ces produits est autorisée ou prohibée et leur place dans la stratégie générale de lutte contre la pollution, tout cela doit être bien balisé et régulé si l'on veut que les dispersants puissent produire les résultats escomptés, sans pour autant, créer des risques supplémentaires pour l'environnement.

Compte tenu des développements intervenus dans le domaine des dispersants depuis l'Édition d'octobre 1998 des « Lignes directrices pour l'utilisation des dispersants dans la lutte en mer contre la pollution par les hydrocarbures dans la région méditerranéenne », la 9^{ème} réunion des Correspondants du Centre régional méditerranéen pour l'intervention d'urgence contre la pollution marine accidentelle (REMPEC), qui s'est tenue à Malte du 21 au 24 avril 2009, avait chargé le Groupe de travail technique méditerranéen (MTWG) d'en réviser le contenu.

Cette nouvelle édition des Lignes directrices approuvée à la 10^{ème} réunion des Correspondants du REMPEC (Malte, 3 - 5 mai 2011) a été élaborée avec l'assistance technique du Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE) puis revue par le REMPEC en collaboration avec le MTWG.

Ces Lignes directrices se proposent d'aider les États côtiers de la Méditerranée à formuler et harmoniser les lois et règles nationales en matière d'utilisation des dispersants dans les opérations de lutte contre la pollution du milieu marin par des hydrocarbures. L'emploi des dispersants sur terre ferme n'est donc pas couvert par ces Lignes directrices.

Le document se divise en quatre parties, chacune traitant d'un aspect spécifique du sujet. Chaque section a été conçue avec un objectif précis et destinée à différents utilisateurs :

PARTIE I

APPROBATION RÉGIONALE

La Partie I, identique à la version adoptée à la 8^{ème} Réunion ordinaire des Parties contractantes à la Convention de Barcelone (UNEP (OCA)/MED IG.3/5, Annexe I, Antalya, Turquie 15 octobre 1993), expose les orientations approuvées au niveau régional pour l'élaboration de lois et règles nationales pour l'utilisation des dispersants.

PARTIE II

LES DISPERSANTS ET LEURS APPLICATIONS

Cette Partie contient des informations théoriques sur les dispersants et leurs applications, destinées à toute personne intéressée par le sujet.

PARTIE III

PLAN GÉNÉRAL ET FORMAT D'UNE POLITIQUE NATIONALE D'UTILISATION DES DISPERSANTS

La Partie III a pour vocation d'aider les États côtiers à mettre au point leurs politiques nationales en matière de dispersants. Elle a été conçue sous forme de plan général qui peut être suivi et adapté par les autorités chargées de la formulation/actualisation de la politique nationale d'utilisation des dispersants comme il peut servir dans la mise en œuvre du plan national ou local d'urgence pour les dispersants.

PARTIE IV

FICHES OPÉRATIONNELLES ET TECHNIQUES

La Partie IV emprunte à une publication intitulée "*Traitement aux dispersants des nappes de pétrole en mer – Traitement par voie aérienne et par bateau. Guide opérationnel*" (CEDRE 2005). Elle se compose d'un ensemble de fiches techniques pratiques traitant des différents aspects en rapport avec l'utilisation des dispersants. Cette Partie intéresse principalement les utilisateurs sur le terrain, leur apportant les connaissances nécessaires pour une application efficace des dispersants.

Pour tenir les États côtiers régulièrement informés des évolutions concernant l'utilisation des dispersants, le REMPEC compte actualiser ce document en y incluant les résultats des efforts de recherche dans ce domaine.

**LIGNES DIRECTRICES POUR L'UTILISATION DES DISPERSANTS
DANS LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION DU MILIEU MARIN PAR LES
HYDROCARBURES EN MÉDITERRANÉE**

P A R T I E II

NOTIONS DE BASE SUR LES DISPERSANTS ET LEUR APPLICATION

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction
2. La mer Méditerranée
3. Présentation générale des dispersants
 - 3.1 Définition
 - 3.2 Historique de l'utilisation des dispersants
 - 3.3 Nomenclature des dispersants
 - 3.4 Composition des dispersants
4. Utilisation des dispersants dans la stratégie de lutte contre les déversements d'hydrocarbures
5. Facteurs affectant l'action des dispersants
 - 5.1 Types d'hydrocarbures
 - 5.2 Contact dispersants/hydrocarbures
 - 5.3 Brassage
 - 5.4 Conditions météorologiques
6. Caractéristiques physiques des dispersants
 - 6.1 Viscosité
 - 6.2 Densité relative
 - 6.3 Point d'écoulement
 - 6.4 Point d'éclair
 - 6.5 Stabilité / durée de conservation
 - 6.6 Autres caractéristiques
7. Effets sur l'environnement
 - 7.1 Toxicité
 - 7.2 Dégradation microbienne
 - 7.3 Effets sur les oiseaux et les mammifères marins
 - 7.4 Utilisation des dispersants sur les déversements d'hydrocarbures dans les fonds marins (ex : *blowout* ou éruption d'hydrocarbures)
8. Bilan des avantages nets pour l'environnement (NEBA)

9. Test, évaluation et sélection des dispersants
 - 9.1 Tests d'efficacité
 - 9.2 Test de toxicité
 - 9.3 Test de biodégradabilité
 - 9.4 Autres tests
10. Dosages et taux d'application des dispersants
11. Modes d'application des dispersants
 - 11.1 Systèmes d'épandage montés sur aéronefs
 - 11.1.1 Avions
 - 11.1.2 Hélicoptères
 - 11.2 Systèmes d'épandage montés sur navires
 - 11.2.1 Systèmes d'épandage des dispersants conventionnels
 - 11.2.2 Systèmes d'épandage des dispersants dilués
 - 11.2.3 Systèmes d'épandage des dispersants purs
 - 11.3 Unités individuelles portatives
12. Conditions logistiques pour une utilisation efficace des dispersants
13. Stockage des dispersants
 - 13.1 Stockage
 - 13.2 Vieillessement

Bibliographie

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la mer Méditerranée	2
Figure 2 : Dispersion de nappes de pétrole par hélicoptère.....	4
Figure 3 : Panache de pétrole dispersé en mer	5
Figure 4 : Stock de fûts de dispersants	6
Figure 5 : Application de dispersants à l'aide d'un aéronef DC3 des autorités britanniques..	9
Figure 6 : Aéronef de repérage des Gardes-Côtes Maritimes Britanniques.....	10
Figure 7 : Emulsion d'hydrocarbures vieillis dont la dispersion est incertaine.....	13
Figure 8 : Epandage de dispersants par un navire.....	13
Figure 9 : Echantillons de dispersants lors d'un contrôle de la qualité en laboratoire	15
Figure 10 : Tests de toxicité menés sur des crevettes en solution d'hydrocarbures.....	17
Figure 11 : Le naufrage du Sea Empress (Royaume-Uni)	19
Figure 12 : Mesure de l'impact des hydrocarbures dispersés sur les poissons.....	20
Figure 13 : <i>Blowout</i> en milieu sous-marin lors de l'accident du DeepWater Horizon.....	23
Figure 14 : Expérience de terrain dans le cadre du projet TROPICS.....	25
Figure 15 : Dispositif du test Labofina / WSL.....	27
Figure 16 : Dispositif du test IFP/méthode de dilution.....	28
Figure 17 : Test par la méthode du flacon agité.....	28
Figure 18 : Dispositif du test MNS	28
Figure 19 : Dispositifs de test britanniques pour l'évaluation de la toxicité.....	30
Figure 20 : Dispositif d'épandage moderne monté sur navire.....	32
Figure 21 : Avion d'épandage agricole	33
Figure 22 : Avion d'épandage multimoteurs lors de l'accident du Deep Water Horizon	34
Figure 23 : Avion avec module d'épandage (POD) intégré.....	34
Figure 24 : Système d'épandage autonome à grande capacité	35
Figure 25 : Les systèmes fixes d'épandage par hélicoptère.....	35
Figure 26 : Cuve à dispersants héliportée.....	35
Figure 27 : Dispositif d'épandage de dispersants conventionnels pour bateau	36
Figure 28 : Application de dispersants pré-dilués dans l'eau de mer	37
Figure 29 : Dispositif d'épandage de dispersants purs par navire	38
Figure 30 : Zone d'atterrissage aménagée sur la côte lors d'une opération d'épandage par cuves héliportées	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques basiques de la Méditerranée.....	2
Tableau 2 : Classification des dispersants.....	4
Tableau 3 : Composition des dispersants conventionnels et concentrés	6
Tableau 4 : Composés spécifiques utilisés dans les formulations de dispersants.....	7
Tableau 5 : Fourchettes typiques de viscosité	14
Tableau 6 : Données du Sea Empress.....	19
Tableau 7 : Paramètres de test d'efficacité.....	27

PARTIE II

NOTIONS DE BASE SUR LES DISPERSANTS ET LEUR APPLICATION

1. INTRODUCTION

Depuis leur première application à grande échelle (au lendemain de la pollution due au naufrage du "Torrey Canyon" en 1967), l'utilisation des dispersants dans la lutte contre les déversements accidentels d'hydrocarbures est restée une problématique controversée. Bien qu'elle soit reconnue par les spécialistes du nettoyage comme l'une des méthodes les plus efficaces pour lutter contre les accidents de pollution en mer, la dispersion chimique des hydrocarbures comporte plusieurs inconvénients. Cette controverse est en partie due à un manque d'information, à des préjugés et à la méconnaissance de l'action de ces produits. Par ailleurs, l'utilisation des dispersants suscite parfois une certaine réticence, à cause des conséquences qu'ils impliquent lorsque leur application n'est pas correctement planifiée et exécutée. L'utilisation des dispersants, et en particulier, le processus de prise de décision de leur utilisation, ainsi que la procédure d'application, doivent faire l'objet d'une planification attentive au niveau national et être motivés par une politique d'utilisation appropriée.

Peu de pays de la région méditerranéenne possèdent une politique clairement définie concernant l'utilisation des dispersants. Il est possible de consulter l'état actuel de la politique concernant l'utilisation des dispersants dans les Etats côtiers de la mer Méditerranée en visitant les profils pays du REMPEC (http://www.rempec.org/country_fr.asp), sur le site internet du REMPEC (www.rempec.org). Lorsqu'une politique clairement définie concernant les dispersants fait défaut, leur utilisation est inévitablement source de discussions houleuses lors d'un déversement d'hydrocarbures.

Les présentes lignes directrices visent à fournir des informations pertinentes et à jour sur les dispersants et leur rôle dans la stratégie de lutte contre les déversements d'hydrocarbures, à même d'aider les Etats côtiers de la Méditerranée à élaborer leurs politiques concernant l'utilisation de ces produits pour lutter contre la pollution accidentelle par les hydrocarbures. Dans cette perspective, le document propose, dans la Partie III, une politique normalisée concernant l'utilisation des dispersants, un modèle adaptable par les Etats qui souhaiteraient se doter d'une politique nationale d'utilisation des dispersants.

De manière générale, la compréhension exhaustive de l'action des dispersants et des méthodes d'application en vigueur, ainsi que des pratiques opérationnelles, doivent constituer le socle de toute politique d'utilisation des dispersants. Une telle politique doit également reposer sur l'adoption de procédures compatibles et, si possible, normalisées pour le test et l'évaluation de l'efficacité, de la toxicité et de la biodégradabilité des dispersants et des mélanges hydrocarbures/dispersants.

2. LA MER MÉDITERRANÉE : CONSIDÉRATIONS DE BASE

Bien que la mer Méditerranée soit une mer semi-fermée échangeant peu d'eau avec l'Atlantique, sa capacité de dilution est considérable. De manière générale, le volume d'eau à la surface concerné par le processus de dispersion est quasiment infini par rapport à la quantité d'hydrocarbures qui pourrait être déversée lors de la plus grande pollution envisageable. Ce volume permettrait une dilution totale d'un panache de pétrole dispersé et un retour à la situation initiale si une telle pollution se produisait.

Cependant, à proximité du littoral et/ou dans les eaux peu profondes, le processus de dilution peut se heurter à différents écueils dont il faut tenir compte au moment de prendre la décision de recours aux dispersants.

Les eaux de surface de la Méditerranée sont salées. Leur salinité varie de 37 à 39,50 g/l d'ouest en est. Toutefois, la salinité de la partie la plus septentrionale de la mer Egée qui reçoit les eaux de la mer Noire, est plus faible (18g/l). Il en est de même des zones à proximité de l'estuaire ou du delta des grands fleuves.

La température des eaux de surface est généralement comprise entre 18 et 24°C. Dans les zones côtières, elle peut dépasser 24°C, tandis qu'en hiver, elle peut chuter dans les zones septentrionales (ex : 14°C pour la mer Adriatique)¹.

Tableau 1 : Caractéristiques basiques de la Méditerranée.

Superficie (totale) Plage bathymétrique de 2000 - 3000 m Plage bathymétrique de moins de 200 m	2,5 x 10 ⁶ km ² 30% 20%
Volume - plage bathymétrique de moins de 200 m	55,5 10 ³ km ³
Salinité des eaux de surface	36 à 39,5
Température des eaux de surface (moyenne)	18 à 24 °C

Les marées en Méditerranée sont généralement faibles, leurs amplitudes y sont bien inférieures à celles des océans.



Figure 1 : Carte de la mer Méditerranée

¹ 1969-P^r P Tcherna-Cours d'océanographie régionale- Service hydrographique et océanographique de la Marine.

3. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES DISPERSANTS

3.1 Définition

Les dispersants utilisés contre les déversements d'hydrocarbures sont produits par l'association d'agents de surface actifs ou tensioactifs à un ou plusieurs solvants organiques. Ils sont spécialement formulés pour stimuler la dispersion des hydrocarbures dans la colonne d'eau. Les mouvements naturels ou induits de l'eau permettent une dispersion rapide dans la masse d'eau de minuscules gouttelettes obtenues grâce à l'action des dispersants, et accélèrent le processus de biodégradation. Parallèlement, les hydrocarbures ainsi dispersés échappent à l'effet du vent qui pourrait les entraîner vers les côtes ou d'autres zones vulnérables. De plus, les dispersants empêchent la fusion des gouttelettes ainsi que la reconstitution de la nappe d'hydrocarbures.

3.2 Historique de l'utilisation des dispersants

L'idée de mettre à profit le principe bien connu consistant à éliminer une substance grasse en l'associant à un agent dispersant (savon, détergent) puis en la lavant à l'eau fut avancée pour la première fois au début des années soixante.

La première utilisation massive de mélanges de détergents industriels et de solvants à base d'hydrocarbures aromatiques en guise de dispersants (dits de première génération), pour endiguer le déversement d'hydrocarbures dû au naufrage du « Torrey Canyon » en mars 1967, démontra malheureusement l'excessive toxicité de ces agents dispersants. Leur impact dévastateur sur la faune et la flore marines surpassait leur efficacité d'agents de nettoyage de la pollution.

Par la suite, de nouvelles formulations plus acceptables pour l'environnement, élaborées à partir de tensioactifs et d'hydrocarbures à teneur aromatique faible ou nulle et bien moins toxiques ont fait très vite leur apparition sur le marché, tels que le kérosène à faible teneur en composés aromatiques ou les solvants à point d'ébullition élevé contenant des hydrocarbures saturés à chaîne ramifiée.

Les dispersants de la « troisième génération », appelés communément « concentrés », ont été introduits au milieu des années soixante-dix. Ces mélanges d'émulsifiants, d'agents mouillants et de solvants oxygénés ont une teneur plus forte en composants actifs (tensioactifs) et plus faible en solvants et sont plus efficaces que les dispersants de « seconde génération ». Ils peuvent donc être utilisés à un dosage [dispersants – hydrocarbures] plus faible que les dispersants conventionnels. Ils peuvent également être appliqués à l'état pur ou pré-dilués dans l'eau de mer, à partir d'un navire ou d'un aéronef (dispersants purs uniquement dans ce dernier cas). La plupart des produits commercialisés à l'heure actuelle appartiennent à cette catégorie.

Depuis leur apparition, les dispersants ont été utilisés à plusieurs reprises contre des déversements d'hydrocarbures d'ampleur variable, à travers le monde. Ils sont devenus un outil majeur de lutte contre les pollutions par des hydrocarbures. L'évolution des techniques d'application ainsi que d'importantes recherches scientifiques concernant les effets des dispersants et des hydrocarbures dispersés sur l'environnement, ont permis la formulation de nouveaux produits.



Figure 2 : Dispersion de nappes de pétrole par hélicoptère

3.3 Nomenclature des dispersants

Le tableau suivant récapitule la nomenclature des dispersants actuellement en usage. Les dispersants sont essentiellement classifiés en deux catégories: seconde et troisième « générations » que l'on retrouve communément sous les appellations « conventionnels » et « concentrés ». En complément à cette nomenclature, le Royaume-Uni autorise la classification des dispersants en fonction de la génération et de la méthode d'application pour laquelle le produit a été homologué dans le pays : type 1 : dispersants conventionnels ; type 2 : concentrés homologués pour une application après pré-dilution dans l'eau de mer (à partir de navires) ; type 3 : dispersants purs (à partir de navires ou d'aéronefs).

Le tableau comparatif ci-dessous illustre ce système de classification :

Tableau 2 : Classification des dispersants

GENERATION	DENOMINATION USUELLE	DOSAGE DISPERSANTS-HYDROCARBURES	TYPE DE SOLVANTS	TYPE	HOMOLOGUE POUR APPLICATION (R.U.)
2 ^{ème}	Dispersants conventionnels	Dispersants à fort dosage : 30 – 50% de la quantité d'hydrocarbures	Hydrocarbures non aromatiques	1	Non dilués (purs), à partir de navires
3 ^{ème}	Dispersants concentrés	Dispersants à faible dosage: 5 –10% de la quantité d'hydrocarbures	Composés oxygénés (éthers de glycol) et hydrocarbures non aromatiques	2	Dilués, à partir de navires
				3	Non dilués (purs), à partir de navires et d'aéronefs



Figure 3 : Panache de pétrole dispersé en mer

3.4 Composition des dispersants

Les dispersants utilisés contre les déversements sont constitués de deux principaux groupes de composants :

- agents de surface actifs (tensioactifs)
- solvants

Les tensioactifs (ou agents de surface) sont des composés chimiques dont les molécules sont constituées de deux parties distinctes : une partie hydrophile et une partie lipophile. Les tensioactifs agissent comme un « pont chimique » entre les éléments huileux et l'eau et favorisent ainsi la fusion de ces deux phases (en d'autres termes, lorsqu'elles migrent vers l'interface huile-eau, les molécules tensioactives contribuent à réduire la tension interfaciale entre l'huile et l'eau). Par conséquent, l'agitation naturelle de la mer (ex : les vagues) peut fractionner l'hydrocarbure en d'innombrables gouttelettes fines qui sont ainsi disséminées sous forme de panache dans les couches superficielles de la colonne d'eau.

Plusieurs tensioactifs sont souvent associés afin d'améliorer la performance des dispersants, mais seuls les tensioactifs non ioniques et anioniques sont utilisés dans les formulations les plus récentes :

- ⇒ tensioactifs non- ioniques : oléates ou laurates de sorbitan, oléates ou laurates éthoxylés de sorbitan, oléates de polyéthylène glycol, alcools gras éthoxylés ou propoxylés, octylphénol éthoxylé.
- ⇒ tensioactifs anioniques : dioctyl-sulfosuccinate de sodium, ditridécanoyl-sulfosuccinate de sodium.

Les solvants sont constitués de produits chimiques liquides ou de mélanges contenant ces produits associés aux dispersants dans le but de dissoudre les tensioactifs solides, de réduire la viscosité du produit afin de réaliser une application uniforme, de favoriser la solubilité des tensioactifs dans les hydrocarbures et/ou d'abaisser le point de solidification du dispersant. Les solvants peuvent être divisés en 3 grands groupes: (a) l'eau, (b) les composés hydroxyliques miscibles avec l'eau et (c) les hydrocarbures. Les composés hydroxyliques utilisés dans les formulations de dispersants comprennent entre autres l'éther monobutylique d'éthylène glycol, l'éther monométhyle de diéthylène glycol et l'éther monobutylique de diéthylène glycol. Parmi les solvants hydrocarbonés utilisés dans les dispersants modernes se trouvent le kérosène inodore et à faible teneur aromatique ainsi que les solvants à point d'ébullition élevé contenant des hydrocarbures saturés à chaîne ramifiée.

La composition approximative de ces deux groupes de dispersants modernes est la suivante :

Tableau 3 : Composition des dispersants conventionnels et concentrés

Dispersants conventionnels (2 ^{ème} génération)	Dispersants concentrés (3 ^{ème} génération)
10 à 25% de tensioactifs	25 à 60% de tensioactifs
Solvants hydrocarbonés	Solvants organiques polaires ou associés à des solvants hydrocarbonés



Figure 4 : Stock de fûts de dispersants

Tableau 4 : Composés spécifiques utilisés dans les formulations de dispersants

Génération	Description	Type pour le R.U	Tensioactifs	Solvants
Seconde	Conventionnel, à base d'hydrocarbures	Type 1	(i) Esters d'acides gras (ii) Esters d'acides gras éthoxylés	Distillats légers de pétrole : Kérosène inodore ou désaromatisé Kérosène à faible teneur aromatique (moins de 3% du poids) CAS No. 64742-47-8 EC No. 265-149-8
Troisième	Concentré, soluble dans l'eau	Type 2	(i) Esters d'acides gras ou esters de sorbitan tels que ceux des séries Span® CAS No.1338-43-8 (ii) Esters d'acides gras éthoxylés (esters de PEG) ou esters de sorbitan éthoxylés tels que ceux des séries Tween® CAS No. 103991-30-6	Esters de glycol tels que : Ethylène glycol Dipropylène glycol Ether monobutylique de l'éthylène glycol (butyl Cellosolve®) CAS No. 111-76-2 Ether monométhylque de dipropylène glycol CAS No. 34590-94-8 EC No. 252-104-2
	Concentré	Type 3	(iii) Di-iso-octyl-sulfosuccinate de sodium EC No. 209-406-4 CAS No. 577-11-7	Distillats légers de pétrole : Distillats légers hydrotraités CAS No 64742-47-8 EC No. 265-149-8

4. UTILISATION DES DISPERSANTS DANS LA STRATÉGIE DE LUTTE CONTRE LES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

La dispersion chimique est une des options de lutte contre le déversement d'hydrocarbures en mer, parmi d'autres telles que « la récupération mécanique combinée au confinement des nappes », « ne rien faire et suivre la nappe » et (à titre de référence générale) le « brûlage sur place ».

Le recours aux dispersants pour lutter contre les déversements d'hydrocarbures présente un certain nombre d'avantages :

- En éliminant les hydrocarbures de la surface, les dispersants freinent l'effet du vent sur le mouvement de la nappe d'hydrocarbures qui autrement pourrait être entraînée vers des zones vulnérables (souvent le littoral).
- Contrairement aux méthodes de confinement et de récupération, la dispersion convient en mer mouvementée et lorsque les courants sont forts.
- Il s'agit la plupart du temps de la méthode de lutte la plus rapide.
- Les dispersants limitent le risque de contamination de certaines ressources vulnérables aux hydrocarbures flottants (nappes superficielles) telles que les oiseaux et les mammifères marins.
- Les dispersants empêchent la formation de « mousse au chocolat ».
- Ils favorisent la dégradation naturelle des hydrocarbures.
- La dispersion ne produit pas de déchets devant être traités.

Le recours aux dispersants présente néanmoins des inconvénients :

- En disséminant les hydrocarbures flottants dans la colonne d'eau, les dispersants risquent d'avoir une influence néfaste sur certaines parties du biotope qui autrement ne seraient pas atteintes par ces hydrocarbures.
- Lorsque l'opération de dispersion se révèle inefficace, l'efficacité des autres méthodes de lutte sur les hydrocarbures préalablement traités aux dispersants s'en trouve affectée.
- Les dispersants ne conviennent pas à tous les types d'hydrocarbures polluants, ils sont de faible utilité sur les hydrocarbures présentant une forte viscosité.
- Lorsque le recours aux dispersants est initialement efficace, la dispersion chimique n'est une option valable que durant les premières heures/jours de l'opération de lutte, avant que les hydrocarbures ne deviennent résistants à la dispersion.
- Dans le cas d'une pollution de grande échelle, la dispersion chimique n'est pas une alternative convenable si la mer est très calme (état de mer 0, 1 voire 2 selon la situation).
- L'infiltration des hydrocarbures dans les sédiments peut être intensifiée lorsque la dispersion chimique est effectuée à proximité de la côte ou dans une zone peu

profonde. De même, lorsque les sédiments sont en suspension, les dispersants augmentent l'adhésion des hydrocarbures aux particules.

- Les dispersants introduisent des quantités supplémentaires de substances étrangères dans l'écosystème marin.



Figure 5 : Application de dispersants à l'aide d'un avion DC3 des autorités britanniques (source : Unité de contrôle des pollutions marines - MPCU)

L'opportunité de mesurer de manière appropriée ces avantages et ces inconvénients est réduite en cas de situation d'urgence. Par conséquent, il faut définir au préalable le cadre d'utilisation des dispersants et leur rôle dans une stratégie globale de lutte contre une pollution accidentelle. Il est nécessaire d'analyser et de déterminer dans le cadre de la préparation du plan d'urgence où et dans quelles circonstances l'on peut donner la priorité à l'utilisation des dispersants, au détriment d'autres méthodes de lutte disponibles. En évaluant différents enjeux pour chaque zone donnée, il est possible de définir l'utilisation des dispersants en fonction de zones géographiques délimitées. En règle générale, l'utilisation des dispersants est déconseillée dans les zones où la circulation de l'eau est faible, à proximité des zones de frayères, des récifs coralliens, des zones de conchyliculture, des zones marécageuses ainsi que des prises d'eau industrielles (voir Partie III du présent manuel).

La lutte contre les déversements accidentels d'hydrocarbures de grande ampleur requiert souvent une coopération internationale. L'application de dispersants peut se situer dans le cadre d'une assistance proposée à un pays confronté à un déversement d'hydrocarbures. Certains pays ou groupes de pays (pays de l'Accord de Bonn) ont convenu d'accepter mutuellement l'application des produits homologués par chaque pays en cas d'urgence. L'objectif de cet accord est de faciliter l'intégration de l'assistance offerte, aux activités nationales de lutte. La Partie I « Approbation régionale » du présent manuel comporte des recommandations concernant la coopération régionale.

En cas d'adoption préalable d'une politique globale de lutte, la prise de décision finale concernant le recours aux dispersants dans le cadre d'un déversement d'hydrocarbures, sera uniquement conditionnée par des facteurs circonstanciels (types d'hydrocarbures, conditions, disponibilité du matériel et du personnel, etc.). L'élaboration d'arbres décisionnels pour assister les responsables facilite considérablement ce processus (voir l'Annexe de la Partie III du présent manuel).

La prise de décision concernant l'utilisation de dispersants fait partie des priorités lors de tout déversement d'hydrocarbures dans la mesure où après un délai relativement court à la suite du déversement, la plupart des hydrocarbures ne peuvent plus être dispersés chimiquement.

Une fois que la décision de recourir aux dispersants est prise, la stratégie d'utilisation devient un élément crucial pour la réussite de l'opération. D'un point de vue stratégique, quelques principes de base peuvent être définis à cet égard :

- les dispersants doivent être appliqués sur les hydrocarbures le plus tôt possible ;
- l'opération d'épandage doit avoir été achevée lorsque les hydrocarbures arrivent au stade de vieillissement (viscosité, formation de mousse), étape à laquelle leur dispersion n'est plus évidente ;
- si les hydrocarbures se dirigent vers une zone sensible, les dispersants devront être appliqués sur la partie de la nappe la plus proche de la zone à protéger.

Lorsqu'une pollution de grande ampleur touche une zone étendue, il est possible de devoir recourir à une combinaison de méthodes de lutte contre le déversement. Dans ces situations, on peut utiliser des dispersants sur une partie de la nappe tandis qu'une récupération mécanique est effectuée simultanément à son autre extrémité.

L'application des dispersants sur zone devrait se conformer à des principes opérationnels tels que :

- appliquer les dispersants sur les couches très épaisses et moyennement épaisses et non sur les couches fines de la nappe (pellicule irisée) ;
- effectuer un traitement méthodique, par des phases parallèles contiguës ou se chevauchant légèrement ;
- noter l'importance du traitement de la nappe dans la direction opposée à celle du vent ;
- les navires sont adaptés au traitement des déversements modérés à proximité des côtes, mais les aéronefs permettent une meilleure réactivité (moins de 24 heures après le déversement), particulièrement au large lorsqu'il s'agit de déversements étendus ;
- toujours utiliser un aéronef de repérage pour guider les dispositifs et pour évaluer les résultats, que l'épandage des dispersants soit effectué à partir de navires ou d'aéronefs.



Figure 6 : Aéronef de repérage des Gardes-Côtes Maritimes Britanniques

L'observation visuelle à partir d'aéronefs, complétée par la photographie, la vidéo ou l'une des techniques de télédétection disponibles recommandées doit être utilisée pour évaluer les résultats de l'application de dispersants. Les observations et les enregistrements produits permettent aussi de conserver un historique du déroulement des opérations.

Enfin, d'un point de vue pratique, les pays qui décident d'envisager le recours à la dispersion chimique dans leur stratégie de lutte doivent accorder une attention particulière :

- a) au stockage de quantités suffisantes de produits sélectionnés et homologués ;
- b) à l'acquisition et à l'entretien des équipements d'épandage appropriés ;
- c) à la formation du personnel à tous les aspects relatifs à l'utilisation de dispersants, notamment par le biais d'exercices pratiques organisés à intervalles réguliers.

5. FACTEURS AFFECTANT L' ACTION DES DISPERSANTS

Quelle que soit la **technique** d'application (Chapitre 10) et le **dosage** retenus (Chapitre 9), l'action des dispersants sera essentiellement déterminée par :

- le type d'hydrocarbure à traiter ;
- le contact dispersants/hydrocarbures ;
- le brassage ;
- et les conditions météorologiques.

5.1 Types d'hydrocarbures

Les caractéristiques déterminant quels **types d'hydrocarbures** peuvent être traités par dispersion chimique sont principalement :

a) La viscosité :

Seuls les hydrocarbures ayant une viscosité à la température ambiante de l'eau de mer inférieure à 5000 cSt (soit la plupart des pétroles bruts frais, les fiouls moyens) peuvent être dispersés chimiquement par les produits disponibles actuellement. La dispersion chimique des hydrocarbures de viscosité comprise entre 5000 et 10 000 cSt est moins évidente (sensibilité réduite) ; au-delà d'une viscosité de 10 000 cSt (pétroles bruts lourds, vieillis et émulsifiés, fiouls lourds) la dispersion chimique sera de moindre utilité voire complètement inefficace.

Même les hydrocarbures ayant une faible viscosité au départ peuvent atteindre rapidement la limite évoquée ci-dessus (en général, 24 heures à partir du moment du déversement), à cause du processus de vieillissement. La période pendant laquelle les hydrocarbures peuvent être dispersés chimiquement est appelée « fenêtre de dispersibilité ». Cette période varie en fonction du type d'hydrocarbures et des conditions météorologiques et océanographiques (principalement la température, l'état de mer / le vent).

Plus la viscosité de l'hydrocarbure est forte, plus il faut d'agitation en mer (vagues) pour favoriser la dispersion.

b) Point d'écoulement :

Les hydrocarbures paraffiniques (cireux) – donc à haut **point d'écoulement** – peuvent résister à la dispersion si la température ambiante est bien en deçà de leur point d'écoulement.

c) Emulsification des hydrocarbures :

Le processus d'émulsification augmente la viscosité des hydrocarbures alors que les dispersants sont généralement inefficaces sur les émulsions « huile dans eau » (« mousse au chocolat »). Cependant, des études ont montré que les dispersants peuvent être encore efficaces lorsque l'émulsion est toute récente (pas totalement stabilisée). Dans cette situation, l'opération de dispersion peut se dérouler en deux étapes : une première application afin de casser l'émulsion et réduire ainsi la viscosité des hydrocarbures, suivie d'une seconde application pour réaliser la dispersion proprement dite.



Figure 7 : Emulsion d'hydrocarbures vieillis dont la dispersion est incertaine

5.2 Contact dispersants/hydrocarbures

Pour obtenir un bon contact dispersants/hydrocarbures, les dispersants doivent être pulvérisés au dessus des hydrocarbures flottants pour **n'atteindre que la surface**, en **évitant de pénétrer** à travers la couche. Pour cela, on associe les techniques d'épandage appropriées (Chapitre 10) en fonction de la taille de gouttelettes souhaitée (calibration). La taille optimale des gouttelettes devrait être dans une fourchette de 350 à 1000 μm , ce qui correspond à une moyenne de 700 μm . Les gouttelettes trop fines seront poussées par le vent et ne fusionneront probablement jamais avec le pétrole, tandis que les gouttelettes trop grosses vont traverser la couche de pétrole et entrer en contact direct avec l'eau sans avoir eu le temps de se fixer au pétrole. Le choix du système d'épandage doit tenir compte de ces phénomènes.

5.3 Brassage

Une fois que les dispersants sont entrés en contact avec les hydrocarbures et que l'extrémité lipophile de leurs molécules s'y est fixée, le mélange dispersants/hydrocarbures doit être agité afin de se fractionner en gouttelettes et de se disperser dans la masse d'eau de mer.

L'agitation naturelle à la surface de la mer (vagues) est nécessaire pour réaliser ce processus (état de mer 2, vent de 3 Beaufort).

Dans le cas d'une pollution modérée, si l'énergie des vagues est insuffisante (mer très calme), le brassage dispersants/hydrocarbures et de l'eau peut parfois être effectué localement :

- en naviguant à travers la nappe d'hydrocarbures et en la remuant à l'aide de la vague d'étrave et de l'hélice ;
- en brassant les hydrocarbures et l'eau avec des lances d'incendie.



Figure 8 : Epandage de dispersants par un navire
(une partie de l'énergie de brassage est générée par la vague d'étrave)

5.4 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ont moins d'influence sur la dispersion chimique des hydrocarbures que sur les autres méthodes de lutte (telles que le confinement et la récupération). En outre, elles n'affectent pas directement le processus physico-chimique de la dispersion, mais plutôt l'application des dispersants.

Les vents peuvent dévier les dispersants appliqués de la zone cible et causer par voie de conséquence une perte importante de produit. Dans le cas de la dispersion par voie aérienne, les vents forts peuvent également avoir une incidence sur la sécurité de l'aéronef d'épandage.

Les vagues: bien que les vagues fournissent l'énergie de brassage nécessaire au processus de dispersion (plus l'énergie est forte, meilleure sera le brassage), les grosses vagues ou les déferlantes peuvent devenir un obstacle en compliquant l'opération d'épandage par les navires. En raison du morcellement des nappes dû à l'effet de vague, une partie du dispersant sera épandue directement sur la surface de l'eau et non sur les nappes, limitant l'interaction entre le dispersant et les hydrocarbures.

La visibilité réduite qui contrarie les opérations d'épandage affecte indirectement l'action des dispersants.

6. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES DISPERSANTS

Certaines propriétés physiques des dispersants peuvent avoir des conséquences pratiques lors de l'utilisation de ces substances (application, risque d'incendie, protection). C'est la raison pour laquelle certains pays intègrent dans leurs procédures d'homologation des exigences concernant la viscosité et/ou le point d'écoulement, le point d'éclair et la stabilité/durée de conservation des dispersants.

6.1 Viscosité

La viscosité d'un liquide peut être définie comme sa résistance à l'écoulement. Les unités de mesure les plus utilisées dans la région méditerranéenne pour quantifier la viscosité sont la viscosité dynamique en « centipoise » (cP) ou la viscosité cinématique en « centistoke » (cSt).

Note : dans le présent contexte, la densité des dispersants est proche de 1, surtout pour les concentrés, les unités centipoise et centistoke sont donc à peu près équivalentes.

La viscosité des dispersants dépend de la température. Des valeurs repères de la viscosité en fonction de la température sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Fourchettes typiques de viscosité

Fourchettes typiques de viscosité selon le type de dispersant cP/ temperature °C	0 °C	20 °C
Conventionnels	10–50	5-25
Concentrés	60–250	30–100

La viscosité a une influence sur la taille des gouttelettes obtenues par dispersion. D'ailleurs certains pays imposent des seuils à la viscosité des dispersants (ex : la viscosité des dispersants en France ne doit pas dépasser 80cP à 20°C).

6.2 Densité relative

Il s'agit du rapport entre la masse d'un solide ou d'un liquide et la masse du volume d'eau équivalent, à une température donnée.

Les dispersants conventionnels ont généralement des densités relatives plus basses (0,80 – 0,90) que celles des concentrés (0,90 – 1,05).

6.3 Point d'écoulement

Il s'agit de la température en dessous de laquelle le liquide ne s'écoule plus.

Le point d'écoulement de la plupart des dispersants est bien inférieur à 0°C (-40 à -10°C). Vu les conditions thermiques qui caractérisent la Méditerranée, ces dispersants ne devraient jamais se solidifier.

6.4 Point d'éclair

Il s'agit de la température la plus basse à laquelle la vapeur émise par la substance volatile s'enflamme dans l'air au contact d'une flamme. La plupart des dispersants ont un point d'éclair supérieur à 60°C et sont considérés comme ininflammables. Pour des raisons pratiques de sécurité, certains pays peuvent imposer des restrictions concernant le point d'éclair (ex : en France, le point d'éclair des dispersants doit être supérieur à 60°C).

6.5 Stabilité / durée de conservation

Au cours de la période de validité du produit mentionnée par le fabricant, ses propriétés ne devraient pas être altérées. La plupart des fabricants annoncent une durée de conservation de 5 ans ou plus de leurs produits.

6.6 Autres caractéristiques

Dans certains dispersants, des composants peuvent être à l'origine de la corrosion des récipients (fûts ou conteneurs) lors d'un stockage prolongé. En conséquence, dans certains pays, la réglementation relative aux dispersants interdit leur adjonction.

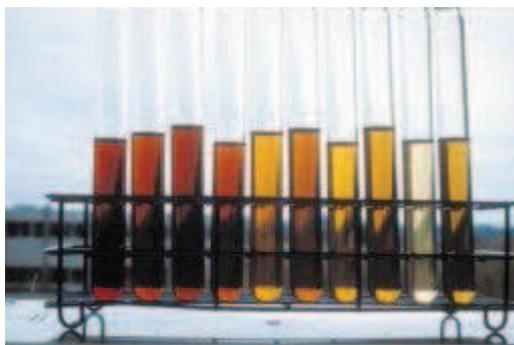


Figure 9 : Echantillons de dispersants lors d'un contrôle de la qualité en laboratoire

7. EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les effets de l'utilisation des dispersants sur l'environnement sont principalement liés: (a) à la toxicité des dispersants ou des mélanges dispersants/hydrocarbures; (b) à leur influence sur la dégradation microbienne des hydrocarbures déversés; et (c) à leur impact sur les populations d'oiseaux et de mammifères marins.

7.1 Toxicité

La toxicité peut se définir comme l'ensemble des effets nocifs pour les organismes causés par l'exposition à une substance ou à un produit chimique.

Ces effets nocifs peuvent être létaux (causer la mort) ou sublétaux (causer des effets nocifs qui peuvent détruire l'organisme sans pour autant causer la mort). L'estimation de l'exposition dépend de la concentration de la substance et de la durée durant laquelle l'organisme a été exposé.

La toxicité est généralement exprimée par le seuil de concentration auquel des effets sont observés durant un temps d'exposition constant, ou par le seuil temporel d'exposition auquel des effets sont observés à une concentration constante. Ces concentrations sont généralement exprimées sous forme d'un rapport, en utilisant les parties par million (ppm) ou parties par milliard (ppb), parfois remplacées par les unités de concentrations mg/L ou µg/L.

La réalisation de tests de toxicité des dispersants devrait idéalement se faire in situ. Cependant, devant l'impossibilité pratique de réaliser de tels tests sur le terrain, de nombreuses procédures de test en laboratoire ont été élaborées. Les résultats de ces tests doivent être interprétés avec prudence, puisque ces derniers n'ont pas été conçus dans une optique écologiquement réaliste ou pour prédire les effets de l'utilisation de dispersants sur le terrain. Pour la plupart des tests, les concentrations et les durées d'exposition sont sensiblement supérieures à celles envisagées sur le terrain. De plus, lors des tests, les organismes sont exposés à des concentrations plus ou moins constantes sur plusieurs jours, alors que la dilution des dispersants et/ou des hydrocarbures en mer entraîne une exposition plus faible. En outre, des erreurs significatives d'interprétation des résultats des tests en laboratoire peuvent également provenir du fait que les seuils sont le plus souvent exprimés en concentrations nominales (quantité totale de dispersants ou d'hydrocarbures dispersés divisée par le volume total d'eau dans la chambre d'expérience) et non en concentrations d'exposition réelles. Dernier argument et non des moindres, les conditions de tests pourraient conduire à surestimer la toxicité des hydrocarbures. En effet, ils sont souvent réalisés avec des hydrocarbures frais. Or, la dégradation de ces derniers en mer entraîne une perte de leurs composés les plus toxiques (voir le paragraphe ci-dessous « Toxicité des hydrocarbures »).



Figure 10 : Tests de toxicité menés sur des crevettes en solution d'hydrocarbures dispersés (Royaume-Uni)

La toxicité intrinsèque des dispersants

Les concentrations létales de dispersants constituent une préoccupation majeure et la plupart des tests de toxicité visent à les déterminer. Cependant, certains effets sublétaux notamment des altérations dans la reproduction, le comportement, la croissance, le métabolisme et la respiration, peuvent se manifester lorsque les organismes sont exposés à des niveaux bien inférieurs aux seuils létaux.

Il faut souligner que ces réactions ont été observées lors d'expériences en laboratoire où la période d'exposition est de 1 à 4 jours, ce qui est plus long que les périodes envisageables dans la plupart des scénarii d'utilisation de dispersants en haute mer. De plus, les effets sublétaux évoqués par ces expériences sont estimés à partir de concentrations qui dépassent de 1 ou 2 ordres de grandeur les concentrations les plus fortes envisagées sur le terrain.

Peu de données sont disponibles sur la mesure des concentrations de produits après l'utilisation de dispersants sur le terrain. Cependant, ces données suggèrent que même les concentrations initiales dans la colonne d'eau sont habituellement inférieures aux concentrations létales et sublétales issues des expériences.

En définitive, les résultats des études sur les effets des dispersants indiquent que les effets les plus graves survenant dans les eaux de surface ne sont pas seulement dus aux seuls dispersants, lorsque ces derniers sont attentivement sélectionnés et utilisés aux taux d'application recommandés.

Toxicité des hydrocarbures

Certains types d'hydrocarbures comportent une faible proportion de composés chimiques toxiques pour les organismes marins. Certains des composés de faible poids moléculaire dont la toxicité est des plus aiguës (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes, généralement évoqués sous le terme « composés BTEX ») sont également volatils et partiellement solubles dans l'eau. Le pétrole brut fraîchement déversé a une toxicité bien plus aiguë que celle des dispersants modernes utilisés contre les nappes d'hydrocarbures.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés de poids moléculaire élevé, présents en faible concentration dans plusieurs hydrocarbures. Leur toxicité est préoccupante. En effet, les HAP sont réputés carcinogènes et peuvent causer d'autres effets en cas d'exposition chronique.

Toxicité des hydrocarbures traités aux dispersants

La dispersion des hydrocarbures déversés transforme la nappe d'hydrocarbures à la surface de l'eau en un panache ou « nuage » constitué de très fines gouttelettes d'hydrocarbures disséminées dans la colonne d'eau. Il est possible que ces gouttelettes soient ingérées par des organismes filtreurs tels que les copépodes, les huîtres, les pétoncles et les palourdes.

L'élargissement de la nappe d'hydrocarbures accroît le taux de dilution dans la mer de leurs composés chimiques partiellement solubles dans l'eau. La concentration localisée de ces fractions solubilisées dans l'eau (WAF) potentiellement toxiques, va augmenter avant même leur dilution. C'est de cette observation que découle l'argument selon lequel l'utilisation des dispersants ne peuvent être une méthode valable de lutte contre les déversements. Lorsque des derniers sont efficaces, ils causent inévitablement une augmentation de la concentration d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau, ce qui engendre des effets toxiques sur la faune et la flore marines. Il est néanmoins important de distinguer :

- (i) la forte éventualité d'engendrer des effets toxiques, et
- (ii) la probabilité que les effets toxiques se manifestent concrètement.

Les concentrations d'hydrocarbures dispersés seront certainement plus élevées avec l'utilisation de dispersants. Cela ne signifie pas pour autant que ces concentrations seront assez denses ou qu'elles subsisteront assez longtemps pour causer de réels effets toxiques. Une certaine proportion des hydrocarbures se dispersera naturellement dès le début de leur déversement, avant émulsification. L'utilisation concluante des dispersants entraînera évidemment une augmentation de la concentration d'hydrocarbures dispersés dans la mer. Il s'agit donc davantage d'une question de proportion que de différence absolue de concentration. Certains hydrocarbures sont susceptibles de se dissoudre et/ou de se disperser naturellement même en l'absence de dispersants.

L'exposition des organismes vivant sur la couche supérieure de la colonne d'eau de mer est exacerbée par la dispersion d'hydrocarbures dans cette dernière. Cependant elle sera faible si le panache d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau se dilue rapidement. L'expérience issue des tests réalisés sur le terrain ainsi que des opérations de dispersion offshore effectuées sur des pollutions réelles, a montré que les hydrocarbures dispersés se diluent rapidement dans l'eau de mer. La concentration d'hydrocarbures dans l'eau situés au-dessous de la nappe décroît rapidement, passant d'une fourchette maximale de 30-50 ppm très peu de temps après le traitement, à des concentrations inférieures à 1-10 ppm sur les 10-20 premiers mètres en-dessous du niveau de la mer, au bout de quelques heures.

La dispersion naturelle entraînant la dissémination des hydrocarbures dans l'environnement – ce processus étant particulièrement rapide lorsqu'il s'agit d'hydrocarbures de faible viscosité dispersés en mer agitée – les organismes marins seront exposés à une certaine concentration d'hydrocarbures, et ceci même sans recours aux dispersants.

Tableau 6 : Données du Sea Empress

Lors du naufrage du « Sea Empress », (Pays de Galles, 1996), qui a été à l'origine de la plus grande opération de traitement aux dispersants (440 tonnes de dispersants ont été épandus en mer, sur des hydrocarbures frais), les données de concentrations d'hydrocarbures suivantes ont été relevées dans la colonne d'eau superficielle:	
Temps écoulé après l'application du traitement	Concentration d'hydrocarbures dans la colonne d'eau superficielle (en ppm)
Immédiatement	10
2 jours	1
1 semaine	0,5
1 mois	0,2
3 mois	Niveau initial



Figure 11 : Le naufrage du Sea Empress (Royaume-Uni)

De nombreuses études ont été réalisées pour déterminer les procédures de test de toxicité qui permettent d'exposer les organismes témoins dans des conditions proches du terrain. Les tests de toxicité réalisés avec des « pics d'exposition » réalistes montrent que l'utilisation de dispersants est sans effets conséquents sur les embryons et les larves lorsque les concentrations en hydrocarbures dispersés sont inférieures à la fourchette de 5-10 ppm. Il apparaît par ailleurs qu'un niveau de 10-40 ppm-heures (concentration en ppm multipliée par l'exposition en heures) n'engendre aucun effet significatif sur des organismes marins plus évolués tels que les larves plus âgées, les poissons et les crustacés.

Des études récentes (ex : projet Discobiol), montrent que :

- les concentrations léthales sur les populations adultes et juvéniles sont bien plus élevées que les concentrations effectivement observées lors des incidents ;
- les effets sublétaux peuvent être observés après la période d'exposition (bioaccumulation, métabolites dans le foie, indicateurs de stress) ; toutefois la plupart des effets observés sont réversibles dans des délais relativement courts : au bout de 2 semaines de convalescence, les effets observés disparaissent ou se résorbent à un niveau proche de la situation initiale.



Figure 12 : Mesure de l'impact des hydrocarbures dispersés sur les poissons – (programme Discobiol)

Lorsque les exigences concernant la profondeur et les échanges d'eau pour une dilution adéquate sont respectées, l'utilisation des dispersants pour disséminer les hydrocarbures présente peu de risques d'atteindre des concentrations assez fortes et des périodes assez prolongées pour entraîner des effets critiques sur la plupart des créatures marines.

De manière générale, l'observation montre que l'impact sur l'environnement de l'épandage de grandes quantités de dispersants en mer à l'issue d'incidents (ex : Sea Empress), est moins fort que prévu. De plus, l'ensemble des avantages résultant de l'utilisation des dispersants sont confirmés.

7.2 Dégradation microbienne

Qu'elle soit mécanique ou chimique, la dispersion des hydrocarbures les rend plus accessibles aux micro-organismes présents dans l'eau de mer. L'influence des dispersants sur la dégradation microbienne des hydrocarbures est donc importante.

Des micro-organismes capables de survivre au contact des hydrocarbures sont présents dans toutes les mers et le taux de dégradation microbienne est directement lié au degré de dispersion des hydrocarbures. Les fractions paraffiniques, fortement et moyennement aromatiques des hydrocarbures sont biodégradables, tandis que la biodégradabilité des hydrocarbures polyaromatiques (4, 5 cycles) et des asphaltes n'est pas rigoureusement prouvée. Il n'existe pas de données corroborant la biodégradation des fractions polaires, des composés azotés, soufrés ou oxygénés.

Les dispersants améliorent le taux de biodégradation des hydrocarbures en augmentant :

- leur rapport surface/volume ;
- leur biodisponibilité (réduction de la tendance des hydrocarbures à former des boules de goudron ou de la mousse ; stabilisation des gouttelettes d'hydrocarbures dans la colonne d'eau pour les empêcher d'échouer sur le littoral ou de se sédimenter).

A l'inverse, les dispersants peuvent réduire le taux de biodégradation des hydrocarbures en constituant un nouveau substrat bactérien (le dispersant). En effet, ils peuvent exercer une attraction des micro-organismes supérieure à celle des hydrocarbures, ou accroître les concentrations d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau, ce qui peut avoir des effets de toxicité ou d'inhibition temporaires sur les populations microbiennes naturellement présentes dans le milieu.

De même que pour la toxicité, la plupart des connaissances concernant la dégradation des hydrocarbures dispersés se limitent à des résultats en laboratoire ou à des études à petite échelle. Certaines études en laboratoire, et toutes les études en mésocosme, ont montré une amélioration du taux de biodégradation des hydrocarbures lorsque des dispersants sont utilisés. Une inhibition temporaire de la biodégradation des hydrocarbures dispersés a été observée lors de tests en laboratoire. Cependant, cette inhibition semble se produire pour des concentrations d'hydrocarbures dispersés supérieures à celles envisagées sur le terrain. Des résultats d'études menées en étangs et en mésocosme indiquent clairement que l'utilisation des dispersants améliore le taux de biodégradation des hydrocarbures dispersés. Il faudrait réaliser des études plus poussées pour déterminer si les dispersants améliorent le degré de biodégradation. Les informations disponibles suggèrent que les composés réfractaires resteraient insensibles au renouvellement de l'application de dispersants.

7.3.1 Effets sur les oiseaux et les mammifères marins

Les hydrocarbures affectent les oiseaux et les mammifères marins en raison :

- des effets toxiques, par l'ingestion directe à la surface de l'eau, ou indirecte au cours de la toilette (ex : lissage des plumes) ;
- des effets altérant l'étanchéité du plumage ou les propriétés hydrofuges de la fourrure, barrières indispensables pour leur isolation thermique.

La réduction de ces effets par l'utilisation de dispersants n'a pas fait l'objet d'études exhaustives.

La consultation des études disponibles n'a pas permis de faire état de différences de niveaux de toxicité des composés d'hydrocarbures sur les oiseaux marins, selon leurs modes de dispersion (chimique ou mécanique). Cependant, la protection des oiseaux exige à l'évidence la réduction de la quantité d'hydrocarbures flottant à la surface. L'exposition aux dispersants et aux hydrocarbures dispersés semble être un problème plus préoccupant que la toxicité accrue des hydrocarbures.

On sait que les mammifères marins sont affectés par les hydrocarbures. Parmi les effets observés on note le dysfonctionnement de processus physiques tels que la thermorégulation, le sens de l'équilibre et la natation, ainsi que la perturbation de processus biochimiques tels que l'activité enzymatique. D'autres effets externes, tels que des irritations ou lésions oculaires, sont aussi observés. L'exposition chronique des mammifères marins aux hydrocarbures peut altérer leur faculté d'assimilation, de stockage et d'élimination des hydrocarbures, tandis que des expositions aiguës peuvent accroître la mortalité, notamment chez les jeunes mammifères qui sont plus sensibles aux effets toxicologiques des hydrocarbures.

Le contact avec les hydrocarbures provoque une réduction du pouvoir isolant de la fourrure. Des dispersants ont été utilisés à titre expérimental pour éliminer les pétroles bruts fixés sur la fourrure. Ces expériences ont conduit à l'élimination des graisses naturelles de l'épiderme en même temps que les pétroles bruts, détruisant ainsi les propriétés hydrofuges de la fourrure. Les agents tensioactifs peuvent accroître la mouillabilité de la fourrure ou du plumage. Cette perméabilité entraîne la pénétration de l'eau froide dans la fourrure ou le plumage, et l'augmentation de la conductance thermique. Ce phénomène est particulièrement dangereux pour les animaux dont la fourrure ou le plumage assurent la flottaison ou l'isolation. Des cas de décès dus à l'ingestion d'hydrocarbures au cours de la toilette ont été recensés.

Les informations disponibles au sujet de l'influence des dispersants ou des hydrocarbures dispersés sur les mammifères marins sont extrêmement limitées. Elles suggèrent néanmoins que l'utilisation des dispersants ne permet pas de diminuer le danger physique que

représentent les hydrocarbures dispersés pour certains mammifères marins isolés par leur fourrure.

7.4 Utilisation de dispersants en cas d'éruption d'hydrocarbures ou blowout

Les dispersants peuvent être utilisés contre les hydrocarbures émergés en mer notamment lors d'un blowout provenant d'une tête de puits.

Cette technique a été utilisée récemment lors de la pollution du « Deep water Horizon », dans le golfe du Mexique en 2010. Lors de cet incident, de grandes quantités d'hydrocarbures ont été déversées en mer (forte pression/grande vitesse de cisaillement). Une importante quantité de dispersants a été directement injectée dans la source de l'éruption, en profondeur (à 1300 m de profondeur) sur les zones polluées à l'intérieur de la conduite (ou riser) abîmée afin de disperser le pétrole fraîchement épandu. L'objectif de cette opération était de :

- réduire la quantité d'hydrocarbures qui pourrait émerger du puits endommagé vers la surface;
- réduire la quantité de substances volatiles dans l'atmosphère à proximité du puits endommagé (pour des raisons de sécurité) ;
- réduire la quantité d'hydrocarbures susceptible de dériver vers le littoral sensible de la Louisiane (problématique environnementale).

La formation d'un grand panache d'hydrocarbures dispersés sur 1100 à 1300 m a été observée. Les concentrations du panache étaient faibles. Au moment de la rédaction de ce manuel, le débat sur les effets (efficacité et impact) de ce cas particulier de dispersion chimique se poursuit.

Des doutes subsistent encore sur les effets réels des dispersants (ce qui est dispersé grâce au produit, et ce qui est dispersé naturellement).

En attendant des résultats d'enquêtes plus précis, la première impression qui prédomine au sein de la communauté scientifique, selon le rapport de la réunion du CRRC (à l'Université du New Hampshire aux Etats unis) intitulé *Deep Water Horizon" Dispersant Use Meeting Report – 26-27 mai 2010 CRRC*) est que l'utilisation des dispersants ainsi que les effets de la dispersion des hydrocarbures dans la colonne d'eau a globalement réduit l'impact environnemental. Cette intervention était préférable à une stratégie de « laisser faire » qui aurait causé la montée à la surface des hydrocarbures et leur déversement sur des zones sensibles telles que les marécages et les habitats littoraux.

Il est important de souligner que les recommandations visant l'application de dispersants sur les nappes superficielles ne sont pas applicables aux opérations en milieu sous-marin sur des panaches causées par une fuite d'hydrocarbures. Dans le cas de fuites, les hydrocarbures sont frais et possèdent toujours leurs fractions légères, donc les fractions les plus toxiques, tandis que les nappes superficielles ont souvent eu le temps de vieillir. Toutefois, compte tenu du fait que les conditions en milieu sous-marin sont très différentes (en termes de température, sensibilité et diversité écologique...) de celles que l'on retrouve à la surface (zone photique), il n'est pas pertinent de se référer au processus habituel d'évaluation de l'impact de la dispersion chimique (c-à-d les processus décrits dans les Parties II et III du présent manuel et le bilan des avantages nets pour l'environnement – NEBA, présenté au chapitre 8).

Ce chapitre portant sur l'application des dispersants pourrait être approfondi lors d'une prochaine édition du manuel, lorsque les résultats des études en cours sur l'accident du Deep Water Horizon et ses conséquences seront publiés.



Figure 13 : *Blowout* en milieu sous-marin lors de l'accident du DeepWater Horizon (source : SINTEF)

8. BILAN DES AVANTAGES NETS POUR L'ENVIRONNEMENT (NEBA)

La stratégie de lutte contre les déversements d'hydrocarbures vise toujours à minimiser l'impact sur les ressources naturelles et économiques. La décision d'utiliser des dispersants devrait se fonder sur la question suivante : « **quel serait l'impact de la pollution avec et sans recours aux dispersants ?** ».

Répondre à cette question consiste à réaliser le bilan des avantages nets pour l'environnement, le NEBA² :

Le NEBA doit permettre :

- d'envisager l'évolution (mouvement, vieillissement) des hydrocarbures traités (dérive dans le sens du courant, vitesse de dilution du panache) et non traités (dérive dans le sens du courant et du vent) ;
- d'évaluer en conséquence les différentes ressources exposées que ce soit aux hydrocarbures traités ou à la nappe de surface ;
- de mesurer la sensibilité des différentes ressources exposées aux hydrocarbures dispersés et à la nappe superficielle non dispersée ;
- de prendre en considération le temps nécessaire au processus de récupération des ressources qui pourraient être affectées.

Ces analyses permettent aux décisionnaires d'arbitrer en matière d'utilisation des dispersants pour limiter les dégâts sur l'environnement et l'économie. Le NEBA implique souvent la comparaison des effets des hydrocarbures dispersés en mer à ceux des nappes échouées sur le littoral.

Dans la plupart des situations, les effets nocifs des dispersants sont moindres que ceux des hydrocarbures vieillis échoués sur le littoral car ces derniers sont plus résistants. Cependant, plus le littoral est touché, plus la réalisation du NEBA est délicate. La stratégie de lutte employée (dispersion chimique ou non) détermine les zones sensibles menacées et induit une gestion spécifique des priorités, en fonction des ressources à protéger.

La perception des habitats et ressources doit être globale, puisque la décision d'utiliser des dispersants peut être bénéfique pour un habitat ou une ressource donnée tout en étant nuisible à l'écosystème environnant.

A titre d'illustration, lorsqu'un déversement se produit en eaux peu profondes sur un récif corallien alors que le courant et le vent poussent la nappe vers la mangrove, il est conseillé de disperser les hydrocarbures au dessus du récif corallien car même si cela risque d'intensifier l'exposition des coraux, cela permet par ailleurs d'éviter l'infiltration des hydrocarbures dans les sédiments de la mangrove. Elle pourrait alors se dégorger et libérer les hydrocarbures au fil des années, ce qui causerait une pollution chronique pour les deux écosystèmes : la mangrove et le récif corallien.

² Le concept de NEBA est évoqué dans la littérature anglaise sous différents termes : NEEBA (*Net Environmental & Economic Benefit Analysis*), ou NEDRA (*Net Environmental Damage Risk Assessment*), etc....



Figure 14 : Expérience de terrain dans le cadre du projet TROPICS : exposition de mangroves aux hydrocarbures pour évaluer l'impact de la dispersion

(source : Clean Caribbean)

Le NEBA est un long processus qui doit être planifié à l'avance. Pour réaliser un NEBA, il est essentiel de répertorier les ressources concernées dans chaque zone par ordre de priorité de protection. Cet inventaire doit tenir compte de certains facteurs tels que les variations saisonnières éventuelles, qui peuvent remettre en question les priorités déjà établies. L'inventaire doit également tenir compte des ressources autant naturelles qu'économiques. On estime en général qu'une plus grande attention devrait être accordée aux espèces en danger, aux zones de forte productivité, aux sites protégés dont le taux de renouvellement des eaux est faible, et aux habitats ayant une capacité de récupération limitée.

Des informations pratiques concernant la réalisation du NEBA sont disponibles dans la Partie III du manuel.

9. TEST, ÉVALUATION ET SÉLECTION DE DISPERSANTS

L'utilisation irraisonnée des dispersants pour combattre les déversements d'hydrocarbures peut avoir des effets délétères sur le milieu marin. C'est la raison pour laquelle la plupart des pays qui envisagent le recours aux dispersants dans leur stratégie de lutte contre les déversements d'hydrocarbures ont élaboré des conditions et des critères auxquels ces derniers devraient être soumis.

Ces spécifications peuvent servir de référence pour la sélection informelle des produits les plus appropriés. Cependant, certains pays ont défini des critères formels d'homologation.

A l'heure actuelle, il n'y a pas d'accord véritable sur le plan international concernant ces critères malgré les efforts d'organismes intergouvernementaux tels que l'AESM (Agence européenne pour la sécurité maritime) ou l'Accord de Bonn pour l'harmonisation de l'utilisation des dispersants dans leurs zones de compétence. Lorsque l'on observe individuellement la situation dans certains pays, on constate qu'au lieu de mettre en place leur propre processus d'homologation, ils se contentent d'agréer les produits homologués par d'autres pays. Par exemple, la Croatie accepte certains produits homologués dans d'autres pays tels que Chypre, la France et le Royaume-Uni. Israël pour sa part approuve les produits homologués par le CEDRE.

Souvent, ces spécifications sont uniquement fondées sur les tests d'efficacité et de toxicité des produits. En outre, certains pays ont fixé des normes relatives à la biodégradabilité du produit et/ou des hydrocarbures dispersés. Certains pays spécifient également les propriétés physiques que doivent avoir les dispersants approuvés.

Les autorités nationales compétentes établissent individuellement leurs listes de produits homologués sur la base de tests d'identification des propriétés. Ces produits, une fois homologués, peuvent être utilisés si nécessaire conformément à la stratégie de lutte adoptée.

Il n'existe pas non plus d'accord entre les différentes administrations nationales sur les procédures de test. Cependant, indépendamment des procédures retenues, les tests devraient permettre de classer les produits selon leur efficacité, leur toxicité ou leur biodégradabilité.

Toutes les procédures de test connues sont fondées sur des tests en laboratoire. Ceux-ci ne sont pas destinés à simuler des situations de terrain et sont donc conçus pour fournir des valeurs relatives sur les propriétés testées. Bien que des différences apparaissent quelquefois, l'expérience du terrain montre qu'il n'y a pas d'écart significatif entre les valeurs relatives obtenues lors des tests en laboratoire et celles issues de la réaction des produits testés sur le terrain. Cela s'applique également à la comparaison des résultats de tests différents : bien que les valeurs absolues d'une propriété spécifique du dispersant testé puissent largement différer selon la procédure de test utilisée, les produits offrant de meilleurs résultats pour une procédure donnée conservent leur performance également lorsqu'ils sont testés suivant un autre procédé.

Dès les prémices de l'utilisation des dispersants, la principale préoccupation était leur toxicité. Avec l'élaboration de nouvelles formulations beaucoup moins toxiques, l'attention s'est tournée progressivement vers leur efficacité. **A l'heure actuelle, l'efficacité des dispersants constitue le critère de sélection le plus important.** On considère qu'il ne sert à rien d'étudier la toxicité et la biodégradabilité d'un produit qui est, de toutes façons, inefficace. Il est plus judicieux de sélectionner un produit présentant un rapport optimal grande efficacité/faible toxicité.

Au-delà des procédures de test spécifiques, un modèle de test communément admis doit se conformer à plusieurs étapes de routine. Dans un premier temps, l'efficacité du produit est testée. Les produits qui répondent au critère d'efficacité sont ensuite soumis aux tests de toxicité et de biodégradabilité. Les résultats des tests de toxicité et de biodégradabilité sont ensuite comparés et les produits conformes aux critères définis sont homologués pour leur utilisation éventuelle.

9.1 Tests d'efficacité

La plupart des tests d'efficacité mesurent le degré et/ou la stabilité de la dispersion (répartition et taille des gouttelettes) soit par l'observation visuelle, soit par le biais d'une autre méthode analytique, après le mélange des hydrocarbures et des dispersants dans des conditions normalisées.

La mesure de la baisse de la tension interfaciale entre les hydrocarbures et l'eau, suite à l'adjonction de dispersants ou la vitesse de remontée à la surface des hydrocarbures après le brassage, peuvent également être utilisées pour mesurer l'efficacité du dispersant.

Les différences en termes de résultat et de classement s'expliquent souvent par des différences de paramètres de test (le type d'hydrocarbures, les volumes d'hydrocarbures et d'eau, les dosages appliqués, le contact dispersants/hydrocarbures mais aussi l'application, le niveau avant brassage, l'énergie de brassage, la dilution continue lors du test, la durée du test...) (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 7 : Paramètres de test d'efficacité

Test	Source d'énergie	Niveau d'énergie	Volume d'eau	Rapport hydrocarbures/ eau	Méthode d'application du dispersant	Rapport dispersants/ hydrocarbures	Temps
IFP	Cercle oscillant	1-2	4-5	1:1000	Goutte-à-goutte	variable	1
Flacon en rotation Labofina	Semblable à la rotation dans un navire	3	0,25	1:50	Goutte-à-goutte	1:25	1
Flacon agité	Secousses de la table	1-2	0,12	1:1200	Prédilution/ goutte-à-goutte	1:10 à 1:25	10

On compte parmi les principales procédures de tests d'efficacité en laboratoire :

- Le test LABOFINA (ou test WSL) : procédure utilisée au Royaume-Uni, réalisée à partir d'entonnoirs séparés qui sont mis en rotation pour apporter une forte énergie permettant le processus de dispersion (cf. WSL Report LR448. appendix A).
- Le test IFP (méthode de dilution) : procédure utilisée en France, réalisée dans un bac à essai dont l'eau est renouvelée afin de reproduire les conditions de dilution en mer. L'énergie de brassage fournie par un générateur de vagues est assez modérée. (réf. Norme française AFNOR NFT 90-345).
- Le test du flacon agité : procédure utilisée en Amérique du Nord, réalisée à partir d'échantillons d'hydrocarbures déjà mélangés avec le dispersant, agités doucement dans un petit entonnoir pour favoriser le processus de dispersion (réf. ASTM F2059 - 06 Standard Test Method).
- Le test MNS est un test qui se caractérise par une forte énergie de brassage ; il est utilisé en Norvège.

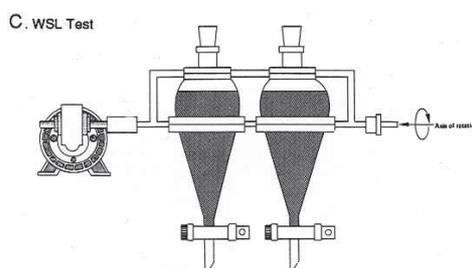


Figure 15 : Dispositif du test Labofina / WSL



Figure 16 : Dispositif du test IFP/méthode de dilution (source SINTEF)



Figure 17 : Test par la méthode du flacon agité (source: www.marinemanagement.org.uk/protecting/pollution/documents/approval_Ir448.pdf)



Figure 18 : Dispositif du test MNS

Enfin, lorsqu'il y a un navire sur zone, il est possible d'évaluer la capacité de dispersion en prélevant directement de la nappe un échantillon dans un vase en verre et en le testant sur le terrain. La procédure de test sur le terrain consiste à comparer la dispersion après agitation manuelle d'un échantillon contenant des dispersants et des hydrocarbures à un autre contenant uniquement des hydrocarbures (ex: [National Plan Oil Spill Dispersant Effectiveness Field Test Kit - Nat-DET](#)). Ces tests peuvent aider les responsables de la lutte à décider de la pertinence de disperser des hydrocarbures dont le degré de vieillissement est inconnu.

9.2 Tests de toxicité

Les produits utilisés lors des tests sont généralement des dispersants, des hydrocarbures dispersés (mélange hydrocarbures/dispersants) et parfois les hydrocarbures seuls. Les espèces cobayes sont les poissons, les arthropodes (généralement des crustacés décapodes), les mollusques (pélécytopodes), les annélidés (polychètes) et les algues. Il est préférable de prélever ces espèces parmi les populations les plus fournies. Les tests peuvent concerner des dosages élevés sur une période de temps très limitée. Ils peuvent également être létaux et sublétaux.

Ces tests visent principalement à déterminer la toxicité relative d'un dispersant par rapport à d'autres testés préalablement.

Puisque la hausse de la température implique également l'accroissement de la toxicité, les tests devraient tenir compte des changements de température susceptibles d'intervenir dans l'eau de mer.

La mesure de la concentration létale 50 (LC₅₀) durant une période déterminée (24 à 48 heures) est un critère habituellement utilisé dans les tests de toxicité.

Les tests de toxicité peuvent être envisagés à partir de deux approches différentes :

- (i) soit en vérifiant la toxicité intrinsèque du dispersant afin d'en extraire les composés les plus toxiques, et dans ce cas, seul le dispersant est testé ;
- (ii) ou en vérifiant que le dispersant n'augmente pas la toxicité des hydrocarbures, dans lequel cas les tests sont effectués sur le dispersant seul et sur les mélanges hydrocarbures/dispersants.

La dispersion des hydrocarbures dans la colonne d'eau implique une augmentation de leur toxicité pour les organismes qui y vivent. La toxicité du mélange hydrocarbures/dispersants devrait être plus élevée que celle des hydrocarbures seuls. Ainsi, plus le dispersant est efficace, plus la toxicité du mélange dispersants/hydrocarbures est accrue puisque la dispersion sera optimale et les hydrocarbures seront bien disséminés. Cette approche peut être finalement plus restrictive et inciter à rejeter les dispersants les plus efficaces, ce qui va à l'encontre de l'objectif des procédures d'homologation, conçues pour permettre la sélection des dispersants les plus efficaces et les moins toxiques.

Selon les objectifs des procédures d'homologation (choix des produits les plus efficaces et les moins toxiques à la fois), le contrôle de la toxicité intrinsèque des dispersants devrait suffir. Toutefois, la question de la toxicité des hydrocarbures dispersés reste une préoccupation pour les concepteurs de stratégies d'utilisation des dispersants. L'évaluation de leur toxicité (toxicité du mélange dispersant/hydrocarbures) est requise lors de la définition de scénarii (conditions environnementales) dans lesquels l'utilisation de dispersants reste une option acceptable d'un point de vue environnemental (ex : dans le cadre du processus du NEBA).

On compte parmi les principales procédures de tests de toxicité:

- Les procédures de test en vigueur au Royaume-Uni :
 - les tests en mer: tests comparatifs effectués sur des crevettes grises pour évaluer la toxicité des hydrocarbures avec et sans dispersants;

- les tests en côtes rocheuses : permettent d'étudier l'effet des dispersants sur la patelle commune. (réf. : MAFF *Fisheries Research Technical Report Number 102*)
- Les procédures de test utilisées en France: comparaison du CL₅₀ (à 6h) du dispersant seul à celui d'un produit toxique de référence, sur des crevettes blanches (réf. norme française NF T90-349).
- La norme de test de toxicité utilisée aux Etats-Unis consiste à exposer des capucettes et des crevettes mysides aux produits de test à différentes concentrations ainsi qu'au mazout n°2, seul et dans un mélange dispersants/hydrocarbures à base d'hydrocarbures comprenant 10% de produit dispersant. (réf. <http://www.epa.gov/osweroe1/docs/oil/cfr/appendix c.pdf>)



Figure 19 : Dispositifs de test britanniques pour l'évaluation de la toxicité

9.3 Tests de biodégradabilité

Les dispersants ainsi que les mélanges hydrocarbures/dispersants sont souvent soumis à des tests de biodégradabilité. Il n'existe pas de méthode à la fois normalisée et consensuelle pour les tests de biodégradabilité. Plusieurs tests normalisés sur des matières biologiques sont utilisés (ex: la méthode normalisée utilisée en France porte la référence NF 90 346).

9.4 Autres tests

Des méthodes analytiques normalisées sont utilisées pour tester d'autres propriétés telles que la densité et la viscosité lorsque cela est requis par les autorités compétentes.

10. DOSAGES ET TAUX D'APPLICATION DES DISPERSANTS

La quantité de dispersant à appliquer pour une quantité d'hydrocarbures donnée pour une dispersion satisfaisante, dépend du type d'hydrocarbures, de son stade de vieillissement, de sa consistance, des conditions de l'environnement (ex : vagues), et de la nature du dispersant.

Dans certaines situations telles que lors de l'incident du « Sea Empress » en 1995, les hydrocarbures peuvent être facilement dispersés. Dans ce cas, un faible dosage (rapport hydrocarbure/dispersant) est suffisant. Lorsqu'il s'agit d'autres incidents plus graves (faible capacité de dispersion des hydrocarbures), le dosage doit être augmenté.

En pratique, il est conseillé de se référer aux dosages recommandés par le fabricant (en général 5% pour les concentrés). Ces dosages peuvent être ajustés durant les opérations en fonction des moyennes de certaines données.

Les **dispersants conventionnels de 2^{ème} génération** (dispersants à base d'hydrocarbures) sont généralement appliqués à des doses d'environ 30 à 50% de la quantité d'hydrocarbures estimée pour des hydrocarbures de faible viscosité (jusqu'à 1000 cSt). Les doses passent à 100% pour les hydrocarbures dont la viscosité se situe entre 1000 et 2000 cSt.

Pour les **concentrés de la 3^{ème} génération**, les doses varient entre 5% pour les hydrocarbures de viscosité inférieure à 5 000 cSt, et 5 à 10% pour le traitement des hydrocarbures dont la viscosité se situe entre 5 000 et 10 000 cSt. Le traitement des hydrocarbures de viscosité supérieure à 10 000 cSt est inefficace. Une dose inférieure à 5% suffit pour les hydrocarbures frais de viscosité inférieure à 500 cSt.

Les **taux d'application** établis en fonction de l'épaisseur de la nappe, sont calculés à partir de règles approuvées pour l'évaluation de l'épaisseur des nappes d'hydrocarbures (l'épaisseur des tâches noires est estimée à environ 0,1 mm, celle des pellicules irisées à la surface devrait se situer entre 0,001 et 0,01 mm).

Quel que soit le dispositif d'épandage utilisé, le taux d'application est déterminé par le débit de la pompe à dispersant, la vitesse du navire ou de l'aéronef et l'étendue de la zone couverte par l'épandage (bande balayée ou largeur d'épandage). La relation entre ces variables est la suivante :

Taux d'application = Débit/Vitesse x Largeur de la bande balayée.

Puisque la bande balayée a une valeur constante pour chaque dispositif d'épandage utilisé, il est possible de calculer pour chaque nappe le taux d'application approprié :

- a) soit en sélectionnant le débit approprié de la pompe à dispersant,
- b) ou en sélectionnant la vitesse appropriée du navire ou de l'aéronef.

On utilise très souvent les proportions suivantes : 100 litres de concentré par hectare pour des hydrocarbures de 0,1 mm d'épaisseur pour un dosage correspondant à 1/10 de dispersant dans le mélange dispersants/hydrocarbures.



Figure 20 : Dispositif d'épandage moderne monté sur navire

(source : SINTEF)

11. MODES D'APPLICATION DES DISPERSANTS

Le choix de la technique d'application des dispersants dépend essentiellement :

- des types de dispersants disponibles ;
- des types de dispositifs d'épandage disponibles.

La taille et la position de la nappe doivent également être prises en compte.

Il existe plusieurs systèmes d'épandage de dispersants qui peuvent être regroupés selon l'équipement pour lequel ils ont été conçus :

- systèmes d'épandage montés sur aéronefs,
- systèmes d'épandage montés sur navires,
- unités individuelles portatives.

11.1 Systèmes d'épandage montés sur aéronefs

L'épandage par voie aérienne de dispersants présente plusieurs avantages (contrôle et évaluation des résultats satisfaisants, grande réactivité, taux de traitement élevés, utilisation optimale du produit, indépendance vis-à-vis de l'état de la mer). De nombreux systèmes d'épandage ont été élaborés pour être utilisés à partir d'aéronefs à voilure fixe ou tournante (hélicoptères). Les unités disponibles sont soit des avions apprêtés pour l'occasion soit des équipements à installation permanente destinés spécialement à cet usage. Les avions à système d'épandage intégré, communément utilisés dans le milieu agricole pour l'épandage de terres cultivées, peuvent être adaptés pour l'épandage de dispersants.

Les systèmes d'épandage par voie aérienne sont utilisés uniquement pour l'application de dispersants purs.

11.1.1 Les avions

Les avions d'épandage agricole se prêtent facilement à l'application de dispersants. Il est cependant conseillé d'adapter les buses de pulvérisation car les taux d'application de dispersants sont supérieurs à ceux des produits agrochimiques. Ces avions ne permettent pas s'éloigner du littoral en raison de la capacité limitée de leurs réservoirs mais aussi parce que la sécurité offerte par ces monomoteurs est limitée.



Figure 21 : Avion d'épandage agricole

Les systèmes fixes pour avions multimoteurs sont équipés d'un dispositif de stockage des dispersants, d'une pompe avec générateur de puissance, de rampes d'épandage dotées de buses et d'un système de commande à distance.

Une autre option consiste à utiliser un système autonome (doté d'un réservoir, d'une pompe et de rampes d'épandage). Ces systèmes peuvent être montés sous le fuselage comme une nacelle amovible (ex : à la place de la soute à bagages). Ils permettent de convertir très rapidement un avion conventionnel en dispositif d'épandage aérien.



Figure 22 : Avion d'épandage multimoteurs à l'œuvre lors de l'accident du Deep Water Horizon (source : US Coast Guard)

Modules d'épandage (POD) pour petits avions : il s'agit de systèmes d'épandage à réservoir autonome qui peuvent être montés sous un petit avion (module au niveau de la soute). On peut adapter facilement et rapidement un avion initialement conçu pour le transport de marchandises ou de passagers en avion d'épandage. Leur réservoir peut contenir jusqu'à 1,5 t de dispersants.



Figure 23 : Avion avec module d'épandage (POD) intégré (source : Douane française)

Les systèmes autonomes d'épandage aérien sont conçus pour s'adapter aux avions de fret à grande capacité munis de portes de soute arrière pouvant rester ouvertes durant le vol. Les unités conteneurisées sont équipées d'une citerne, d'un générateur de puissance, d'une pompe et de rampes d'épandage rétractables. Ils peuvent être rapidement montés dans la cale.



Figure 24 : Système d'épandage autonome à grande capacité (20t) fixé sur un Hercules C130

11.1.2 Les hélicoptères

Les systèmes fixes d'épandage par hélicoptère sont montés sous le fuselage et équipés des mêmes éléments que les unités conçues pour les aéronefs à voilure fixe.



Figure 25 : Les systèmes fixes d'épandage par hélicoptère

Les cuves à dispersants (ou « systèmes Bucket héliportés ») peuvent être utilisées avec tout hélicoptère muni d'un crochet pour le transport de charges suspendues. Les unités sont autonomes (citerne, pompe, générateur de puissance, rampes d'épandage) et télécommandées depuis le poste de pilotage.



Figure 26 : Cuve à dispersants héliportée (source : SINTEF)

L'application de dispersants par voie aérienne dépend de la visibilité au-dessus de la zone de la nappe à traiter et de l'énergie des vagues pour le brassage des dispersants et des hydrocarbures.

Les aéronefs d'épandage de dispersants à installation fixe sont rares en raison des coûts élevés qu'ils occasionnent. L'utilisation des cuves hélicoptérées est la solution la mieux indiquée. En outre, les hélicoptères offrent l'avantage d'excellentes possibilités de manœuvre. Néanmoins, en termes de volume, leur capacité d'emport baisse très rapidement avec l'augmentation de la distance à couvrir. L'inconvénient des aéronefs à voilure fixe réside dans leur faible vitesse d'opération, qui ne dépasse pas 150 noeuds.

11.2 Systèmes d'épandage montés sur navires :

Plusieurs types d'équipements existent dans cette catégorie, dont les systèmes fixes et les systèmes amovibles :

11.2.1 Systèmes d'épandage de dispersants conventionnels

Les systèmes d'épandage de **dispersants conventionnels**, c'est-à-dire de **2^{ème} génération** (dispersants à base d'hydrocarbures) sont rarement utilisés aujourd'hui, puisque ces dispersants sont utilisés purs, et que du fait de la proportion dispersants/hydrocarbures de 1/1 à 1/3 maximum, une grande quantité de dispersants doit être transportée à bord. Ils sont dotés d'une pompe à débit fixe et de deux rampes d'épandage munies généralement de trois buses chacune. Ces unités sont souvent montées à la poupe.



Figure 27 : Dispositif d'épandage de dispersants conventionnels pour bateau

11.2.2 Systèmes d'épandage de concentrés pré-dilués dans l'eau de mer

L'application de dispersants pré-dilués dans l'eau de mer a été mise au point pour permettre l'application des dispersants concentrés (faible dosage dispersants/hydrocarbures) à l'aide des équipements initialement conçus pour l'application des dispersants conventionnels (fort dosage dispersants/hydrocarbures). Le fait de diluer les dispersants permet en effet d'augmenter le débit de pulvérisation par les buses de grand diamètre dont sont dotés ces équipements. Ces systèmes sont étudiés pour pré-diluer les dispersants dans l'eau de mer, dans une proportion de 10%, en règle générale.

L'épandage de concentrés pré-dilués peut être effectué par le biais des systèmes suivants :

Les systèmes à éducteur : ils sont conçus pour fonctionner avec le dispositif anti-incendie intégré du navire. L'éducteur, qui est relié à la sortie de la pompe, entraîne une dépression au point d'admission du dispersant, qui est alors aspiré dans les conduits de décharge. Les

dispersants dilués sont appliqués à l'aide d'un canon à incendie ou à travers des buses de rampes d'épandage fixées aux flancs du navire.

Ces systèmes ont tendance à gaspiller le dispersant. De plus, leur précision laisse à désirer. Bien que la plupart des navires soient dotés de ces systèmes, ils ne devraient être utilisés qu'en l'absence d'une alternative meilleure.

Les systèmes à injection sont constitués de deux pompes, l'une pour l'eau et l'autre, similaire aux pompes d'alimentation de produits chimiques à débit variable, pour le dispersant. Le dispersant est appliqué à l'aide de buses montées sur des rampes d'épandage fixés aux flancs du navire. Il existe des modèles à installation fixe et des modèles portatifs. Il est préférable de les installer à la proue du navire afin de profiter de l'énergie de brassage générée par la vague d'étrave.

Il est important de souligner que la pré-dilution dans l'eau de mer peut diminuer l'efficacité des dispersants surtout lorsque les hydrocarbures sont un peu visqueux ou vieillis (>700 cSt). C'est la raison pour laquelle on recommande fortement l'application de dispersants purs (évoquée ci-dessous).



Figure 28 : Application de dispersants pré-dilués dans l'eau de mer

11.2.3 Systèmes d'épandage de dispersants purs

Les systèmes d'épandage de dispersants purs sont conçus exclusivement pour l'application de dispersants concentrés non dilués.

Ces unités sont généralement montées à la proue, sont dotées d'une pompe à débit variable et le dispersant est épandu à travers des buses montées sur des rampes d'épandage. Ces rampes sont plus longues et ont une plus grande précision que les rampes montées à la poupe. L'énergie de brassage est fournie par la vague d'étrave.

Certaines unités sont équipées de dispositifs multi-pulvérisateurs dont la fonction est d'augmenter le débit de pulvérisation du dispersant. En utilisant un ou plusieurs de ces dispositifs, le débit peut être adapté aux conditions d'interventions (vitesse du navire, épaisseur de la nappe, type d'hydrocarbure, etc.).

Différents types de navires peuvent être utilisés pour l'épandage, en combinaison avec des navires antipollution spécialement construits à cet effet. On peut donc utiliser les remorqueurs, les navires de soutien, les chalutiers et les petits bateaux de pêche. La nécessité d'opérer à faible vitesse tout en conservant la manoeuvrabilité adéquate peut constituer une limite pour

certains navires. Les navires adaptés devraient également avoir une capacité de stockage du dispersant suffisante.



Figure 29 : Dispositif d'épandage de dispersants purs par navire

11.3 Unités individuelles portatives

Des **unités dorsales**, légères, accessibles et peu coûteuses, normalement utilisées en agriculture, peuvent également être employées pour l'application de dispersants sur de petits déversements à proximité du littoral. Les taux d'application sont limités.

Certains modèles comportent un réservoir et une pompe **montés sur une remorque** et reliés à la lance de pulvérisation portative par un tuyau flexible.

A l'instar des concentrés, les dispersants à base d'hydrocarbures peuvent être utilisés avec ce type de dispositif.

12. CONDITIONS LOGISTIQUES POUR UNE UTILISATION EFFICACE DES DISPERSANTS

Quelle que soit l'échelle à laquelle les dispersants sont appliqués, leur utilisation exige un appui logistique bien organisé. Comme les hydrocarbures deviennent résistants à la dispersion chimique dès les premières heures ou premiers jours après le déversement (moment opportun à la dispersion), les responsables doivent être capables de disperser sans tarder. Par conséquent, toute la logistique doit être planifiée en amont. Cet aspect devient particulièrement important quand les dispersants sont utilisés pour traiter des pollutions de grande ampleur, assez loin des côtes. Puisque la récupération mécanique des hydrocarbures nécessite également un appui logistique important, les contraintes logistiques peuvent constituer un facteur décisif pour décider de l'utilisation d'une méthode plutôt qu'une autre. La disponibilité des équipements, des produits et du personnel nécessaires est un facteur majeur dans la prise de décision. Cependant d'autres facteurs tels que l'ampleur du déversement et sa localisation, les délais de mobilisation du personnel et des équipements et les conditions océaniques et météorologiques dominantes auront également une grande influence sur le choix de la méthode.

Pour garantir l'efficacité optimale de l'opération de dispersion, il faut accorder une attention particulière à ses aspects logistiques :

- Le traitement des hydrocarbures par les dispersants nécessite l'utilisation de quantités considérables du produit. La proportion de dispersants à appliquer est estimée à environ 5% du volume d'hydrocarbures à traiter si les concentrés sont utilisés. Lorsque les dispersants conventionnels à base d'hydrocarbures sont utilisés, cette proportion peut atteindre pratiquement le même volume que les hydrocarbures (100 %). On comprend dès lors pourquoi de nos jours les produits conventionnels ne sont presque plus utilisés.
- Dans la plupart des pays, les stocks de dispersants ne sont généralement prévus que pour l'intervention initiale. Il est nécessaire de prendre des dispositions en amont, avec les fabricants et/ou les distributeurs pour l'approvisionnement en quantités supplémentaires de produits dans des délais très brefs. Les accords internationaux, régionaux, sous-régionaux et bilatéraux avec les pays voisins doivent être envisagés au préalable afin de mutualiser les stocks nationaux disponibles dans la région ou dans des pays plus éloignés. Les dispositions douanières doivent faire l'objet de mises au point en amont afin de permettre des déplacements transfrontaliers sans obstacles. Les pays touchés par un déversement et nécessitant des stocks et des équipements supplémentaires, peuvent solliciter l'aide du REMPEC pour faciliter la coordination de l'assistance régionale proposée, dans le cadre du Protocole relatif à la coopération en matière de prévention de la pollution par les navires et de lutte contre la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures et les substances nocives et potentiellement dangereuses en cas de situation critique.
- Le transport de ces quantités supplémentaires de dispersants depuis le lieu de stockage, de production, ou depuis l'aéroport d'arrivée (seul le transport aérien entre deux pays est suffisamment rapide pour acheminer à temps les dispersants vers le pays affecté) vers le lieu du déversement ou la base opérationnelle, doit être planifié avec soin et exécuté avec précision.

- Si de grandes quantités de dispersants sont utilisées, leur transport depuis les entrepôts jusqu'à la base opérationnelle se fait plus efficacement en camions-citernes ou en conteneurs pour liquides qu'en fûts. Des pompes de grande capacité devraient être utilisées pour recharger les unités d'épandage.
- La maintenance des équipements d'épandage ainsi que des navires et des aéronefs concernés par l'opération doit être planifiée. Un stock des pièces détachées les plus importantes doit être prévu à la base opérationnelle.
- Le carburant des navires et des aéronefs doit être disponible à la base opérationnelle et le ravitaillement effectué rapidement sous peine de ralentir les opérations. Lorsqu'il s'agit d'une intervention par voie aérienne, des difficultés de ravitaillement peuvent survenir, car les réserves de carburant pour les avions équipés de moteurs à piston sont rares. Si des avions locaux sont utilisés, les dispositions relatives à leur ravitaillement doivent être prévues dès l'élaboration du plan d'urgence.



Figure 30 : Zone d'atterrissage aménagée sur la côte lors d'une opération d'épandage par cuves hélicoptérées

- Les hélicoptères peuvent atterrir, ou changer leurs systèmes d'épandage sans atterrir, pratiquement partout. Des pistes d'atterrissage pour aéronefs légers peuvent être aménagées en l'absence d'un héliport. Cependant, les grands avions nécessitent une longue piste et seuls les vrais aéroports peuvent faire office de bases de ravitaillement et de réapprovisionnement en dispersants.
- Un hébergement à proximité de la base doit être fourni aux équipages ; quand des navires plus grands sont utilisés pour l'épandage, la question ne se pose pas puisque l'équipage loge à bord.
- Des liaisons de télécommunication appropriées, en particulier entre les avions de repérage et les unités d'épandage, sont essentielles. La VHF semble présenter des avantages sur d'autres systèmes.
- Des contacts permanents doivent être maintenus avec les autorités aériennes nationales pour obtenir sans délai les autorisations nécessaires pour mener les opérations prévues.
- Si la demande d'équipements aériens par le biais de l'assistance internationale est envisagée, les autorisations de vol, la compatibilité des infrastructures (ex : caractéristiques des pistes) la disponibilité des carburants spécifiques aux appareils doivent être vérifiés au préalable, idéalement lors de la préparation du plan d'urgence.

13. STOCKAGE DES DISPERSANTS

13.1 Stockage

La quantité de dispersants à stocker pour une intervention d'urgence doit être évaluée lors de la phase de préparation du plan d'urgence. **Elle doit être calculée en fonction de la quantité de produit estimée nécessaire pour lutter contre la pollution, dans le scénario le plus critique, et en tenant compte des délais de réapprovisionnement.** Le délai nécessaire pour réapprovisionner le stock (soit par les fabricants, soit par d'autres sources) doit également être négocié et déterminé à l'avance (cf. Chapitre 12). En dehors des cas de déversement continu, l'arrivée de nouvelles quantités de dispersants plus de 48 heures après le début du déversement est généralement inutile.

Les dispersants sont stockés généralement dans des fûts en acier de 200 litres, posés à l'air libre, ou mieux, en entrepôt. Bien que la possibilité de corrosion par l'intérieur ne puisse être négligée, la probabilité que la corrosion provienne de l'extérieur est plus forte.

Il est donc fortement recommandé d'inspecter périodiquement les fûts entreposés. Les dispersants peuvent aussi être conditionnés et vendus dans des fûts en plastique résistant à la corrosion mais il faudrait alors les stocker à l'abri du soleil afin de leur éviter la détérioration.

Les dispersants peuvent également être livrés et stockés dans des conteneurs en vrac. Du point de vue opérationnel, et compte tenu de la nécessité d'intervenir rapidement, et donc de transporter de grandes quantités de produit, cette option est préférable au stockage en fûts. Le stockage dans des citernes sur remorque est encore plus pratique.

Les pays utilisant des navires antipollution spécialisés peuvent également opter pour un stockage dans des réservoirs intégrés des navires. Pour les épandages réalisés à partir d'autres types de navire, les dispersants peuvent, au besoin, être transférés des conteneurs de stockage vers des citernes souples qui peuvent être installées à bord de presque tous les navires.

Des pompes portatives de capacité relativement importante, construites dans des matériaux résistant aux composants des dispersants, doivent être disponibles pour le transfert des produits entre les conteneurs de stockage et les unités d'épandage.

13.2 Vieillessement

Les dispersants sont des mélanges complexes de plusieurs composants, dont les propriétés peuvent subir des changements lors de leur vieillissement, c'est-à-dire que leur stabilité n'est pas toujours régulière. Au cours d'un stockage prolongé, certains composants peuvent se séparer de la solution en formant des couches, voire même se cristalliser. La détérioration des dispersants est souvent due à de mauvaises conditions de stockage qui peuvent en altérer la qualité (ex : stock de dispersants pollué par une substance extérieure, surchauffe de réservoirs de dispersants exposés au soleil durant de longues périodes...). Ces détériorations se traduisent le plus souvent par une perte d'efficacité du produit. Par conséquent, il est conseillé de vérifier périodiquement la qualité des produits (ex : contrôles en laboratoire tous les deux ans).

Les pays possédant des procédures d'accord ou d'homologation demandent régulièrement aux fabricants les durées de conservation (cf Chapitre 6, paragraphe 6.5). Indépendamment de la durée annoncée par le fabricant, la méthode la plus fiable pour découvrir d'éventuelles altérations de la qualité des dispersants stockés, consiste à tester périodiquement leur

efficacité et à comparer les résultats avec ceux obtenus à l'aide de la même méthode et du même produit lorsqu'il était frais. De tels tests peuvent être effectués aisément et ne nécessitent pas de matériel de laboratoire coûteux.

BIBLIOGRAPHIE

1. ITOPF (1986), Response to marine oil spills, ITOPF, Londres, R.U.
 2. CONCAWE (1986), Oil spill dispersants efficiency testing: review and practical experience, Report No. 86/52, CONCAWE, La Haye, Pays Bas.
 3. Bocard, C. (1987), Basic considerations on the use of dispersants / Selection of dispersants (Document technique du cours MEDEXPOL 87), Marseille, France.
 4. Accord de Bonn (1988), Document de position sur les dispersants, Accord de Bonn, Londres, R.U.
 5. OMI (1988), Manuel de lutte contre la pollution par les hydrocarbures, Section IV : Lutte contre les déversements d'hydrocarbures, OMI, Londres, R.U.
 6. CONCAWE (1988), A field guide to the application of dispersants to oil spills, Report no. 2/88, CONCAWE, La Haye, Pays Bas.
 7. Accord de Bonn (1991), Chapitre 20 amendé du Manuel Accord de Bonn de Lutte contre la Pollution (document de travail), Accord de Bonn, Paris, France.
 8. Merlin, F. (1991), Selecting dispersants and periodic checking of their quality, CEDRE, Brest, France.
 9. OMI / PNUE (1995), Directives OMI/PNUE sur l'application des dispersants d'hydrocarbures et considérations liées à l'environnement, OMI, Londres, R.U.
 10. IPIECA, 2001. Dispersants and their role in oil spill response – Technical report series volume 5.
 11. Maritime Safety Authority of New Zealand, 2001. Oil spill dispersants. Guidelines for use in New Zealand. Autorité pour la sécurité maritime de la Nouvelle Zélande.
 12. GAOCTMAO, 2002. Guidelines for the use of oil spill dispersants in the Gulf area. GAOCTMAO.
 13. Energy Institute, 2004. Operational guidelines on the use of oil spill dispersants at sea. Energy Institute.
 14. CEDRE, 2005. Utilisation des dispersants pour lutter contre des déversements de pétrole en mer, Manuel de traitement des nappes par voie aérienne, et par bateaux. CEDRE
 15. NOWPAP MERRAC, 2005. Guideline for the use of dispersant.
 16. National Research Council, 2005. Oil spill dispersant. Efficacy and effects. National Academic Press.
 17. ITOPF, 2005. Technical Information Paper - The use of chemical dispersants to treat oil spills. ITOPF, Londres.
 18. Lewis, A, Merlin, F, Darling, P, Reed, M, 2006. Applicability of oil spill dispersants. Part 1 – Overview. EMSA.
 19. EMSA, 2007. Inventory of national policies regarding the use of oil spill dispersants in the EU member states. EMSA.
 20. 2007: Merlin F.X., The use of dispersant – State of art – WP2. Oil Spill Response at Sea – Projet SPREEX.
 21. MERRAC Technical Report No. 3. MERRAC
-



REMPEC
MARITIME HOUSE, LASCARIS WHARF, LA VALETTE VLT 1921, MALTE
rempec@rempec.org - www.rempec.org