

**LES POLLUTIONS MARINES ACCIDENTELLES.
AU-DELA DU PETROLE BRUT, LES PRODUITS CHIMIQUES ET AUTRES
DEVERSEMENTS EN MER**

Michel Marchand ¹

Ifremer, Centre de Nantes, Département « Biogéochimie et Ecotoxicologie »
Rue de l'Île d'Yeu, 44311 – Nantes Cédex
e-mail : mmarchan@ifremer.fr

Le thème des pollutions marines accidentelles peut être abordé par différents aspects : la sécurité du trafic maritime, les dispositifs juridiques existants, les techniques de lutte anti-pollution, les conséquences écologiques, les processus d'indemnisations,... Etant de formation scientifique, j'ai choisi comme axe de présentation de partir sur le comportement des produits déversés accidentellement en mer.

La pollution accidentelle en mer est généralement associée au naufrage d'un navire pétrolier, visualisée par le cormoran mazouté qui tente dans un ultime effort de s'échapper de la masse de pétrole qui flotte à la surface de la mer, avant de disparaître, définitivement absorbé dans la masse gluante qui devient son linceul. Cette image est bien évidemment exacte et le naufrage de *l'Erika*, au large des côtes sud de la Bretagne, a été fatale sans doute à plusieurs centaines de milliers d'oiseaux de mer. Il convient toutefois de dépasser cette image et montrer que les pollutions accidentelles par hydrocarbures sont diversifiées, ce qui nécessite d'adopter des stratégies d'intervention de lutte différentes selon la nature des produits déversés et les caractéristiques des milieux atteints. Ceci est tout autant vrai pour ce qui concerne l'impact et les conséquences écologiques à court et long terme de tels déversements.

Mais les pollutions marines accidentelles concernent aussi les produits chimiques et l'accident de *l'Ievoli Sun*, dans le Cotentin, un an après celui de *l'Erika*, a été pour la autorités françaises un exemple préoccupant. Dans le domaine des produits chimiques, la diversité est bien plus grande que celle que l'on peut observer pour les hydrocarbures. Les produits chimiques sont généralement synonymes de réactivité (risques d'incendie, d'explosion) et de toxicité. Qu'en est-il lorsque des produits issus de l'agro-alimentaire sont déversés en mer ? Sont-ils une source alimentaire supplémentaire pour les poissons et la faune sauvage ou un piège qui peut s'avérer mortel ? Un déversement accidentel, semble-t-il aussi anodin que du blé, peut avoir des conséquences redoutables, non seulement pour l'environnement mais également pour la santé humaine. Le naufrage du céréalier *Fenes* en Corse apporte une réponse assez surprenante.

Dans tous les cas de figures, suite à un déversement accidentel en mer, deux questions centrales se posent :

- faut-il intervenir et si oui, peut-on le faire et si oui, quels sont les moyens à mettre en œuvre pour lutter contre de tels déversements,
- quelles sont les conséquences à court et long terme sur l'environnement et sur l'ensemble des activités humaines qui tirent ressources de la mer, pêche, cultures marines, saliculture, tourisme, thalassothérapie,

A ces deux questions figure un dénominateur commun : la nécessité de connaître le comportement du produit déversé. Cette connaissance conditionne tout autant la réponse opérationnelle de lutte que l'évaluation de l'impact sur l'environnement marin. Le comportement d'un produit déversé en mer dépend en tout premier lieu de ses propriétés intrinsèques et des caractéristiques de l'environnement

¹ Cet article a été publié dans la Revue Annales des Mines, Responsabilité & Environnement, juillet 2003 :70-92. Les commentaires personnels de l'auteur ne sauraient refléter en quelque manière que ce soit la position officielle de l'Ifremer.

touché, tant à l'échelle régionale que locale. Il est facile de comprendre qu'un pétrole déversé en mer aura un comportement différent en milieu tropical qu'en milieu polaire, que la rémanence du produit sera plus importante au fond d'une baie et d'un marais que sur une côte rocheuse battue par les vents et les courants.

1- QUELQUES DONNEES SUR LE TRAFIC MARITIME

Le trafic maritime à l'échelle mondiale peut se résumer par quelques chiffres clés. Les hydrocarbures transportés par voie maritime représentent un chiffre annuel compris entre 1200 et 1500 millions de tonnes (Mt) pour les pétroles bruts et entre 200 et 350 millions de tonnes (Mt) pour les produits raffinés (essences, fuels domestiques, fuels lourds, bitume), transport assuré par une flotte d'environ 6500 navires.

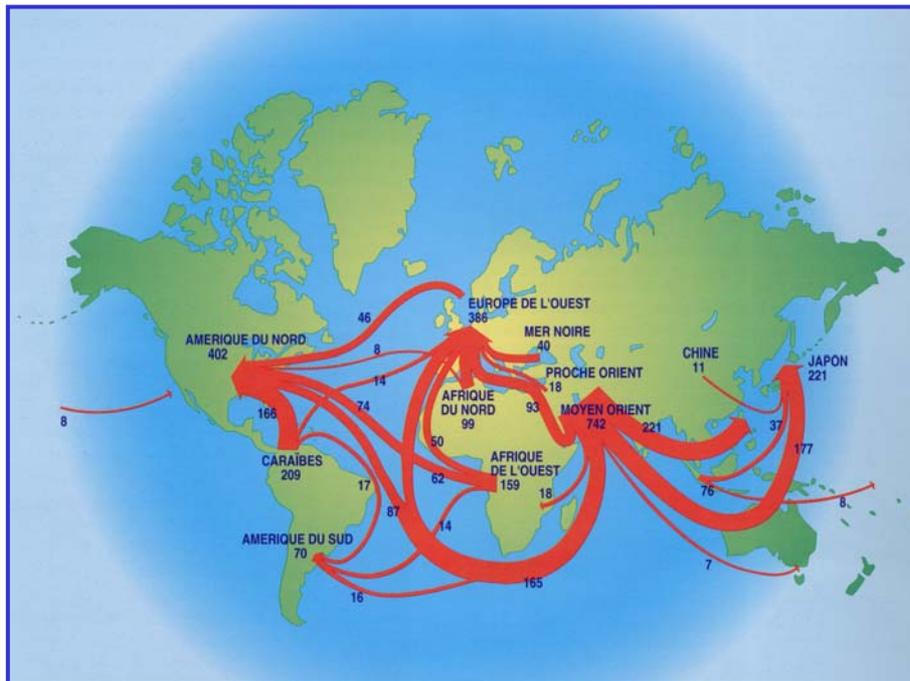


Figure 1- Routes mondiales du transport maritime du pétrole brut en 1996 [1]

Concernant les produits chimiques, il convient de distinguer le transport en vrac et le transport en colis. En dehors des navires transportant des gaz liquéfiés, la capacité des navires-citernes pour produits chimiques varie entre 400 m³ et 40 000 m³. Environ 600 produits chimiques peuvent être transportés en vrac par voie maritime, les principaux sont :

- les produits chimiques de base : acide sulfurique, acide phosphorique, acide nitrique, acide chlorhydrique, soude, ammoniac,...
- les alcools et mélasses,
- les huiles végétales (soja, palme, tournesol,...) et animales (saindoux, huiles de poisson),
- les produits issus de la pétrochimie et du goudron de houille : benzène, xylène, naphtalène, phénol, styrène,...

L'ordre de grandeur que l'on peut retenir sur le nombre de produits chimiques transportés en colis est d'environ 2 000. Les substances dangereuses sont classées en 9 classes de produits, selon la réglementation internationale du transport des matières dangereuses :

- 1- explosifs,
- 2- gaz dangereux,
- 3- liquides inflammables,
- 4- solides inflammables,
- 5- matières comburantes : substances oxydantes et peroxydes organiques,

- 6- matières toxiques infectieuses,
- 7- matières radioactives,
- 8- matières corrosives,
- 9- matières et objets dangereux divers

Voyons à présent ce que représente le trafic maritime de matières dangereuses le long des côtes françaises de la Manche et de la Mer du nord. L'évaluation est réalisée par la Commission d'études pratiques de lutte antipollution (CEPPOL) de la Marine nationale sur la base des données recueillies par les trois CROSS implantés à Corsen, Jobourg et Gris Nez. Ce trafic représente un acheminement annuel de l'ordre de 230 Mt d'hydrocarbures (20% du trafic mondial) et d'environ 60 Mt de produits chimiques. Ceci représente, pour l'année 1997, un trafic de matières dangereuses à proximité des côtes françaises d'environ 16 000 passages de navires par an, représentés par 5 000 cargaisons d'hydrocarbures et 11 000 cargaisons de produits chimiques (dont 1 600 de gaz liquéfiés ou comprimés). Il convient de signaler que plus de 50% du tonnage global des produits chimiques sont déclarés sous l'appellation évasive « produits chimiques divers » montrant l'ignorance ou le laxisme de certains capitaines de navires face à la nature exacte des cargaisons transportées. Au palmarès des produits les plus transportés, hors pétrole et gaz, figurent les huiles végétales et animales (4 Mt, 320 navires), le méthanol (2 Mt, 150 navires), les phosphates (2 Mt, 100 navires), l'ammoniac (1,6 Mt, 110 navires). On peut également identifier un groupe de produits dont le tonnage annuel avoisine le million de tonnes : benzène, propène/propylène, soude caustique, acide phosphorique, engrais, urée.

2- LA REGLEMENTATION INTERNATIONALE

Chaque catastrophe maritime a contribué au développement du droit international. Le naufrage du *Titanic* a posé le fondement du droit à la sécurité maritime et de la création d'une première organisation internationale qui allait devenir en 1948 l'Organisation maritime internationale (OMI). Le naufrage du *Torrey Canyon* allait amener à établir la convention internationale de la responsabilité civile du propriétaire du navire, celui de *l'Amoco Cadiz*, à la constitution d'un Fonds d'indemnisation aux pollutions par hydrocarbures (FIPOI). La pollution de *l'Exxon Valdez* allait mettre en avant l'obligation des pétroliers double-coque aux Etats-Unis et celle de *l'Erika* au retrait progressif des pétroliers simple-coque, ...et ainsi de suite.

L'Organisation maritime internationale (OMI) regroupe 160 Etats-membres. Au total plus de quarante conventions ont été adoptées et 800 recueils de règles, codes et recommandations ont été publiés. Les travaux sont réalisés en comités et sous-comités et portent sur deux grands thèmes : la sécurité maritime et la protection du milieu marin. La sécurité maritime est basée sur la Convention pour la sauvegarde de la vie humaine en mer, appelée Convention SOLAS « *Safety of Life at Sea* ». La prévention de la pollution depuis les navires est basée sur la Convention MARPOL 73/78 dont les dispositions réglementaires sont présentées dans différentes annexes qui touchent à la nature de la cargaison transportée (évoquée précédemment) et à la vie du navire :

- annexe I : transport des hydrocarbures
- annexe II : transport des produits chimiques en vrac
- annexe III : transport des produits chimiques en colis
- annexe IV : les eaux usées du navire
- annexe V : les déchets et ordures du navire
- annexe VI : les fumées et émissions de CO₂, SO₂, NO_x

Ainsi, les substances liquides nocives transportées en vrac sont classées, selon la Convention MARPOL 73/78 (Annexe II) en quatre catégories (A,B,C,D) en fonction des dangers décroissants qu'elles présentent pour le milieu marin. La classification est établie sur la base d'un profil de dangers établi par un groupe expert indépendant (GESAMP – « *Group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection* ») qui prend en compte différents critères de dangers pour l'environnement marin (bioaccumulation, toxicité, dégradation, effets physiques) et l'homme (inhalation, ingestion, contact cutané ou oculaire) [2]. A titre d'exemple, la catégorie A peut être

représentée par certains acrylates, la catégorie B par le styrène (transporté par *l'Ievoli Sun*), la catégorie D par les huiles végétales et l'on peut ajouter une cinquième catégorie de produits considérés comme non nocifs, produits dits « hors catégorie », comme par exemple le jus de pomme ou la mélasse. Pour les produits chimiques transportés en colis, l'annexe III de la Convention MARPOL 73/78 a repris les dispositions générales de la réglementation du transport des matières dangereuses en 9 classes évoquées précédemment.

Sans entrer dans le détail du fonctionnement de l'Organisation Maritime Internationale qui ne constitue pas l'objet de cette présentation, il est permis de faire toutefois quelques remarques sur son mode de fonctionnement. Le financement l'OMI par chaque Etat-membre est basé sur le tonnage de sa flotte de commerce, ce qui explique que 27% du budget de l'OMI sont assurés par le Libéria et Panama et 60% du budget sont fournis par seulement 10 Etats-membres dont Malte et Chypre qui figurent respectivement en 7^{ème} et 8^{ème} position. Chaque Etat dispose d'une seule voix. Toutefois, les conventions adoptées ont force de droit international si un certain pourcentage d'Etats signataires, représentant une certaine proportion du volume de la flotte mondiale, les ratifie. La Convention SOLAS a pu ainsi être ratifiée par 25 Etats représentant la moitié de la flotte mondiale. Avec ce mode de fonctionnement, on voit que le poids des Etats où se situent les pavillons de complaisance est déterminant. Dans un tel contexte réglementaire, comment se situent les accidents maritimes qui conduisent à des pollutions marines accidentelles ?

3- QUELQUES DONNEES STATISTIQUES SUR LES ACCIDENTS/INCIDENTS MARITIMES.

Les déversements en mer sont liés aux aléas du trafic maritime, aux pollutions de nature accidentelle en milieu portuaire, ainsi qu'aux opérations illicites de rejets depuis les navires. Les premières données exploitables le long des côtes françaises sont celles du *Cedre* qui est régulièrement mis en alerte. De cette activité d'assistance, mise en place depuis 1979, il est possible d'avoir une vue globale sur les cas les plus significatifs d'accidents/incidents en mer ayant entraîné des pollutions réelles ou des menaces de pollution. Sur la quarantaine de cas enregistrés sur un peu plus de deux décennies, le nombre de situations d'urgence ayant trait à des produits chimiques transportés en vrac ou en colis est équivalent à celui des hydrocarbures (*tableau 1*).

Tableau 1- Bilan sur les accidents et incidents, les plus significatifs ayant entraîné des pollutions ou menaces de pollutions (période 1979-2001). (source : *Cedre* et [3])

Pollutions ou menaces de pollutions	
Hydrocarbures ⁽¹⁾	18
Perte de conteneurs avec substances dangereuses ⁽²⁾	11
Déversement de produits chimiques ⁽³⁾	8
Cas atypiques ⁽⁴⁾	2

- (1) cas les plus importants : *Amoco Cadiz* (1978) : 227 000t
Gino (1979) : 41 000 t
Tanio (1980) : 6 000 t
Erika (1999) : 20 000 t
- (2) cas les plus importants : *Brea* (1988) : 700 fûts (produits divers)
Perintis (1989) : 14 conteneurs (pesticides dont 5 t de lindane)
Sherbro (1993) : 88 conteneurs (pesticides)
- (3) cas les plus récents : *Allegra* (1997): 700 t d'huile de palme
Ievoli Sun (2000) : 4 000 t de styrène
Balu (2001) : 8 000 t d'acide sulfurique
- (4) cas concernés : Atlantique (1993) : échouement de 23 000 détonateurs
Fenes (1996) : 2 600 t de blé

Une étude réalisée par la Commission européenne [4], portant sur la description de 1776 accidents de transport maritime et fluvial, de 1945 à 1993, mettant en jeu des matières dangereuses prises au sens large, apporte des données statistiques sur les quantités déversées. En moyenne, la quantité déversée

par accident en pétrole brut est approximativement 5 fois plus importante que le déversement de produits pétroliers raffinés, lui-même 5 fois plus important que le déversement de produits chimiques.

4- LES POLLUTIONS PAR HYDROCARBURES

4.1. Les apports d'hydrocarbures à l'océan. Avant d'évaluer l'importance des marées noires dans le paysage maritime, il est intéressant d'estimer à l'échelle mondiale les quantités d'hydrocarbures qui atteignent le milieu marin. Diverses estimations ont été réalisées avec, comme on peut l'imaginer aisément, une grande part d'incertitude. Nous reprendrons l'évaluation de l'Académie des sciences des Etats-Unis réalisée pour les années 80 (*tableau 2*).

Tableau 2 – Déversement d'hydrocarbures en milieu marin pour les années 80 : 2,4 Mt/an

Sources naturelles	0,2 Mt
Retombées atmosphériques	0,2 Mt
Industrie, urbanisation	1,5 Mt
Exploitation pétrolière offshore	0,1 Mt
Transport maritime	0,4 Mt
- rejets (0,1 Mt)	
- accidents pétroliers (0,2 Mt)	
- accidents d'autres navires (0,1 Mt)	

Plusieurs remarques se dégagent de ce tableau. Les marées noires ne doivent pas être l'arbre qui cache la forêt, l'essentiel de la contamination marine par hydrocarbures provient des apports telluriques des activités humaines (62%), le transport maritime ne représente que 17%. Il n'en demeure pas moins que si la moyenne annuelle à l'échelle mondiale provenant des navires pétroliers (0,2 Mt) est concentrée sur un seul site marin, comme ce fût le cas avec la pollution de *l'Amoco Cadiz*, le terme de catastrophe écologique n'est pas hors propos.

Nous voyons qu'il est fait distinction entre les déversements accidentels et les rejets volontaires depuis les navires, ce que l'on appelle les opérations de déballastage, terme qui englobe le nettoyage et le rejets des résidus des ballasts, des cuves de soute et des citernes. L'estimation de ces rejets volontaires est difficile à faire du fait qu'ils sont par nature frauduleux. Les côtes françaises sont surveillées régulièrement par les avions des douanes (avions Polmar) et communiquent des constats de pollution aux différents CROSS qui établissent des procès-verbaux (POLREP). Chaque année, 200 à 300 POLREP sont ainsi établis et environ 80% d'entre eux concernent le repérage de nappes d'hydrocarbures en mer. 40% de ces observations identifient le navire pollueur ou suspect. Les autres observations (20%) représentent le repérage d'objets flottants en mer (containers, billes de bois, végétaux), de fûts à la côte, de nodules graisseux, de macrodéchets, voire de fausses pollutions (poussées planctoniques en mer assimilées à des nappes d'hydrocarbures).

Les informations de l'ITOPF (« *International Tanker Owner Pollution Federation* ») [5], structure mutuelle des armateurs des navires pétroliers, permettent d'avoir une idée plus précise des pollutions accidentelles par hydrocarbures provenant des navires. La base de données de cette structure recense sur 25 ans, de 1970 à 1995, environ 10 000 accidents. Ceci représente un déversement cumulé de 5 Mt d'hydrocarbures en mer (0,2 Mt/an), ce qui correspond au déversement d'une tonne d'hydrocarbures pour 10 000 tonnes transportées. La majorité des accidents (83%) représente des petits déversements inférieurs à 7 tonnes. Pour les accidents majeurs (déversements supérieurs à 700 tonnes), le nombre d'accidents annuel a diminué, passant en moyenne de 24 accidents/an durant les années 70 à 9 accidents/an durant les années 80. L'OMI, de son côté, apporte des données complémentaires, estimant, pour ce qui relève du transport maritime, une diminution des quantités d'hydrocarbures déversés en mer, passant de 2,13 Mt en 1973, 1,47 Mt en 1981 à 0,57 Mt en 1989. On constate donc à une diminution globale des déversements d'hydrocarbures en mer, en terme de nombre d'accidents et également en quantités. Il est admis que la mise en vigueur en 1983 de la Convention MARPOL 73/78 n'a pu avoir que des effets bénéfiques sur cette situation.

La figure 2 recense les 20 accidents de navires pétroliers les plus importants au niveau mondial ayant occasionné des marées noires. Les huit premiers accidents représentent des déversements en mer de plus de 100 000 tonnes de pétrole. Il est significatif de noter que la moitié d'entre eux ont concerné les côtes européennes : *Amoco Cadiz* (France), *Haven* (Italie), *Torrey Canyon* (Grande Bretagne), *Urquiola* (Espagne).

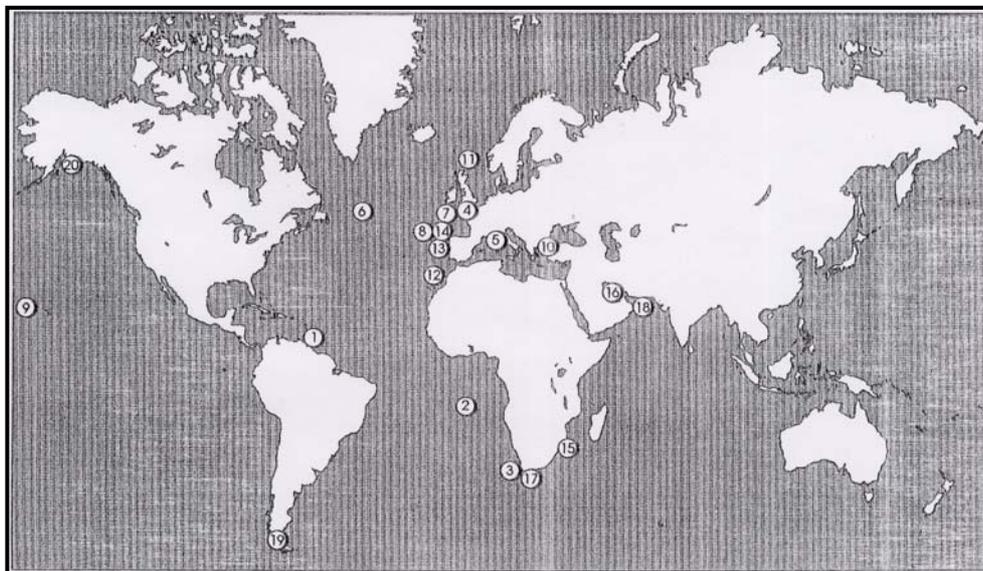


Figure 2 – Les 20 accidents majeurs dans le monde

Cette longue litanie de marées noires qui débute avec le naufrage du *Torrey Canyon* en 1967 est marquée par plusieurs faits marquants que l'on peut résumer ainsi :

- *Torrey Canyon* (1967, Angleterre) : échouement du navire, déversement de 119 000 tonnes de pétrole brut, 1^{ère} pollution majeure, dérive de nappes en mer atteignant les côtes françaises, usage de dispersants plus toxiques que le pétrole lui-même, naissance des politiques de prévention et de lutte contre les marées noires.
- *Amoco Cadiz* (1978, France) : avarie de barre, déversement de 227 000 tonnes de pétrole brut, la plus importante marée noire près des côtes, 360 km de côtes polluées, procès sur 14 ans, indemnisation : 191 millions d'Euros.
- *Exxon Valdez* (1989, Alaska) : échouement, déversement de 37 000 tonnes sur un chargement de 180 000 tonnes de pétrole brut, 1700 km de côtes touchées, c'est la marée noire la plus chère avec une facture qui s'élève à plus de 3,8 milliards d'Euros.
- *Aegean Sea* (1992, Espagne) : échouement et incendie du navire, déversement de 80 000 tonnes de pétrole brut, plus de 4000 pêcheurs, ramasseurs de coquillages, aquaculteurs sont directement touchés par la pollution
- *Braer* (1993, Ecosse) : échouement, déversement de 85 000 tonnes de pétrole brut, interdiction de pêche sur un vaste secteur, les maisons et les prairies sont souillées par les aérosols d'hydrocarbures.
- *Sea Empress* (1996, Pays de Galles) : avarie du navire, transport de 130 000 tonnes de pétrole brut, décision des autorités britanniques de ramener le navire à la côte, déversement de la moitié de la cargaison, 1^{ère} coopération européenne pour la lutte antipollution (6 navires) dans le cadre de l'application de l'Accord de Bonn.
- *Erika* (1999, France) cassure d'un navire en charge, transport de 31 000 tonnes de fuel lourd, déversement de 20 000 tonnes, nouvelle application de l'Accord de Bonn, allègement de l'épave (11 000 tonnes) gisant par 200 m de fonds.

Les pollutions pétrolières à proximité des côtes de la Bretagne (figure 3, tableau 3) montrent que chaque marée noire peut être considérée comme un cas spécifique. Les observations réalisées montrent une diversité de comportement des hydrocarbures en mer qui reflète la diversité des produits déversés : forte évaporation dans l'atmosphère des fractions volatiles pétroles d'Arabie et d'Iran transportés par l'*Amoco Cadiz*, dérive à la limite de la flottabilité du pétrole brut de Boscan, produit lourd du Venezuela transporté par le *Böhlen*, coulage des résidus de raffinage, « Carbon Black Oil », plus dense que l'eau après le naufrage du *Gino*.

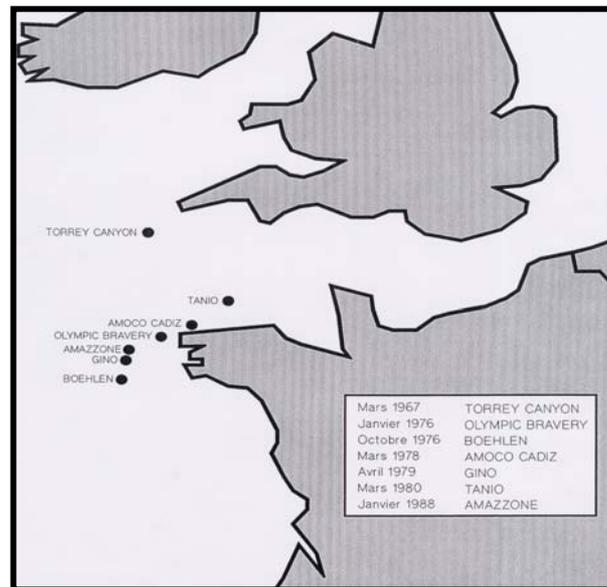


Figure 3 – Les pollutions pétrolières sur le littoral breton

Tableau 3 : Accidents pétroliers majeurs en Manche

Accident	Produit pétrolier	Quantité déversée	Caractéristiques	Impact côtier
<i>Torrey Canyon</i> (1967)	Brut Koweït	117 000 t	d = 0,86 v = 10 cSt (38°C)	200 km, Cornouaille et Guernesey (GB) 150 km, Bretagne (F)
<i>Böhlen</i> (1976)	Brut Boscan	9 000 t	d = 0,99 v = 19 000 cSt (38°C)	100 km, Bretagne
<i>Amoco Cadiz</i> (1978)	Bruts légers d'Arabie et d'Iran	227 000 t	d = 0,85 v = 8 cSt (21°C)	350 km, Bretagne
<i>Gino</i> (1979)	Résidus de raffinage « Carbon Black Oil »	40 000 t	d = 1,06-1,09 v = 1515 cSt (20°C)	Pollution fonds marins
<i>Tanio</i> (1980)	Fuel lourd n°2	10 000 t	d = 0,96 v = 40 cSt (100 °C)	200 km, Bretagne
<i>Erika</i> (1999)	Fuel lourd n°2	20 000	d = 1,025 v = 50 000 cSt (10°C)	300 km, Bretagne, Vendée

4.2. Comportement des hydrocarbures déversés accidentellement en mer et conséquences écologiques. Le comportement des hydrocarbures en mer dépend étroitement de la nature des produits déversés. Il convient de tenir compte également du lieu du déversement (zone côtière, d'estuaire, du large) et des conditions météo-océaniques (marée, courants, vent, agitation de la mer, ensoleillement). Répandu en mer, un produit pétrolier est soumis aux effets de l'environnement qui entraînent sa dispersion dans le milieu marin et en même temps modifient son état physique et ses caractéristiques

chimiques, ce que l'on appelle le « vieillissement » du pétrole. Aucun accident n'est tout à fait identique à un autre. Le comportement des hydrocarbures répandus en mer est le résultat d'un ensemble d'interactions qui se jouent entre le produit déversé et le milieu extérieur.

Les pétroles bruts sont des mélanges complexes et variables d'hydrocarbures. C'est pourquoi leur consistance peut aller d'un liquide volatil à celle d'un semi-solide visqueux. Les produits raffinés représentent différentes fractions de distillation des pétroles bruts dans l'ordre de leur densité croissante : essences, kérosènes, fuels, huiles de graissage, fuels résiduels, bitume. Un produit pétrolier se caractérise par sa composition chimique et ses propriétés physiques.

On distingue classiquement trois familles principales d'hydrocarbures. Les hydrocarbures aliphatiques sont constitués de molécules à chaîne ouverte linéaire (n-alcanes), ramifiée (iso-alcanes), ou cyclique (naphtènes) à 5 ou 6 atomes de carbone (cyclopentane ou cyclohexane) avec des combinaisons polycycliques. Les hydrocarbures aromatiques sont constitués d'un noyau aromatique (dérivés du benzène) ou de plusieurs noyaux aromatiques (hydrocarbures polyaromatiques). Certains composés contiennent du soufre (dérivés du thiophène et du dibenzothiophène). D'une manière générale, les hydrocarbures aromatiques sont la cause essentielle de l'impact écotoxicologique des pollutions pétrolières sur les écosystèmes aquatiques. Les résines et asphaltènes représentent des molécules hétérocycliques (N, S, O) à haut poids moléculaire. Dans cette fraction se retrouvent également des métaux tels que le nickel et le vanadium. Les effets sur la faune et la flore aquatiques sont mal connus et l'évaluation de tels polymères échappe presque totalement à l'analyse chimique.

Les propriétés physiques les plus importantes qui ont une incidence sur le comportement d'un produit pétrolier déversé dans le milieu marin sont :

- la densité (pétroles bruts et produits raffinés : 0,8 à 1,0 , fuels de soutage : 1,0 à 1,25),
- les caractéristiques de distillation, dont le point éclair qui représente la température à partir de laquelle un produit chauffé émet des vapeurs inflammables,
- le point d'écoulement représente la température en-dessous de laquelle le produit ne s'écoule plus,
- la viscosité représente la résistance à l'écoulement ; c'est un paramètre prépondérant dans le choix des moyens de lutte (pompage, traitement aux dispersants).

La *figure 4* résume les principaux processus qui vont avoir une influence sur le comportement d'un pétrole déversé en mer. On distingue généralement deux phases distinctes durant lesquelles certains processus ont une part active et prépondérante :

Une phase d'**évolution à court terme** qui intervient dans les premiers jours qui suivent le déversement marquée par les processus suivants :

- l'étalement de la nappe,
- l'évaporation des fractions légères,
- la dissolution des composés les plus solubles,
- l'émulsification du produit sous l'effet de l'agitation,
- la sédimentation par fixation du produit sur les matières en suspension.

C'est durant cette phase d'évolution que plusieurs phénomènes majeurs sont observés : le déplacement des nappes d'hydrocarbures à la surface de l'eau sous l'effet des vents et des courants (on admet qu'une nappe d'hydrocarbures se déplace dans une direction et à une vitesse égale à la somme vectorielle d'environ 3% de la vitesse du vent et de 100% de la vitesse du courant), la pollution éventuelle du littoral, la dispersion des hydrocarbures dans la masse d'eau, la contamination des fonds marins, les effets écologiques immédiats par mortalités massives et fortes contaminations des espèces marines (coquillages, poissons).

Une phase d'**évolution à long terme** qui se déroule sur des semaines, des mois, voire plusieurs années. Cette seconde phase d'évolution est associée à la phase de décontamination de l'environnement marin sous l'effet du niveau d'énergie des sites contaminés : énergie solaire (photo-oxydation), énergie mécanique du milieu (dispersion naturelle), énergie biologique (biodégradation,

métabolisation in vivo). Les vitesses de décontamination sont très différentes selon les milieux pollués (eau de mer, littoral, sédiments), les sites atteints (secteurs battus, sites abrités) ainsi que selon les classes d'hydrocarbures considérés (hydrocarbures aliphatiques, hydrocarbures mono- ou poly-aromatiques, marqueurs biogéochimiques à long terme). Durant cette phase d'évolution à long terme, les effets écologiques se traduisent essentiellement par des déséquilibres consécutifs aux effets immédiats : disparition d'espèces, apparition d'espèces opportunistes, compétition, retour à l'équilibre originel. Les suivis réalisés permettent d'évaluer la reconstitution des équilibres d'origine qui est généralement bien corrélée avec les processus de décontamination de l'environnement. On peut retenir des périodes de 2 à 6 ans pour les zones de faible sensibilité (ex. pointes rocheuses), de 5 à 15 ans pour les zones de sensibilité moyennes (plages, entrées d'estuaires) et de 10 à 25 ans pour les zones de forte sensibilité (marais, fonds d'estuaires).

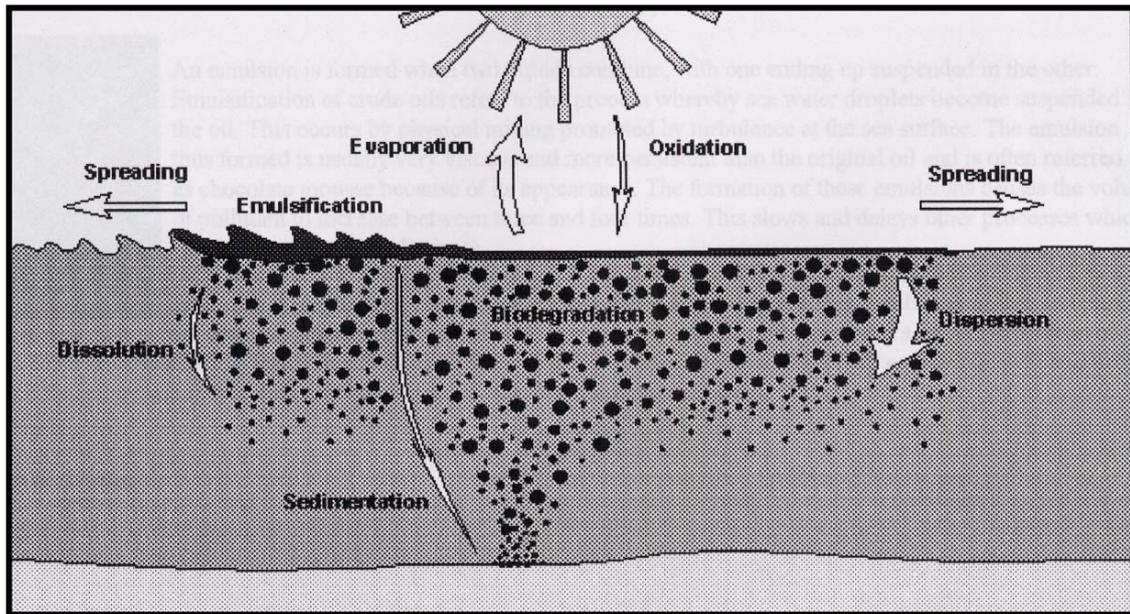


Figure 4- Comportement d'un pétrole déversé en mer

Si l'on compare les deux marées noires de l'*Amoco Cadiz* et de l'*Erika*, en dehors des quantités déversées très différentes, d'un côté 227 000 tonnes de pétrole brut, de l'autre 20 000 tonnes de fuel lourd, les observations qui ont été réalisées en terme de comportement et d'impact montrent que l'on a affaire à deux événements totalement différents. Le pétrole de l'*Amoco Cadiz* s'est dispersé dans tous les compartiments environnementaux (atmosphère, eau de surface, colonne d'eau et sédiment) et a agi par effets physiques et toxiques sur l'ensemble des communautés biologiques. Le fuel lourd de l'*Erika* s'est comporté comme une souillure à la surface de l'eau dont les effets essentiellement physiques se sont manifestés principalement sur les oiseaux de mer (tableau 4).

Tableau 4 - Deux exemples opposés de comportement et effets de deux marées noires

<i>Accidents</i>	<i>Amoco Cadiz</i>	<i>Erika</i>
Caractéristiques initiales	Pétroles légers d'Arabie et d'Iran (227 000 tonnes déversées)	Fuel lourd (20 000 tonnes déversées)
Comportement - Evaporation - Dispersion dans l'eau - Biodégradation	40% important oui (littoral, eau, sédiment)	Négligeable Négligeable Non biodégradable
Effets à court terme	Mortalités massives (260 000 tonnes de biomasse détruite, échouements de millions de coquillages sur certaines plages) Faible impact sur les oiseaux (4500 oiseaux morts)	Pas de mortalités massives 77000 oiseaux mazoutés recueillis, caractère massif des mortalités sur les oiseaux sans précédent.

4.3. Principes d'intervention en mer. Lutter contre une marée noire nécessite de mettre en œuvre des moyens conséquents selon des choix stratégiques qui prennent en compte la nature du produit déversé, le lieu de l'accident, les conditions météorologiques, les caractéristiques environnementales. Rappelons que la mise en œuvre de la lutte est conditionnée par une phase essentielle préalable, celle de la préparation à la lutte qui passe par la préparation des plans Polmar (stockage, répartition et entretien des moyens de lutte en mer et à terre, définition des zones sensibles à protéger, identification des sites de stockage) et la mise en œuvre d'exercices antipollution permettant de mettre en situation les acteurs et de juger de l'efficacité des actions coordonnées entre les différents corps de l'Etat. En cas de pollution majeure, la lutte en mer est sous l'autorité du Préfet maritime qui déclenche le plan Polmar-mer et lorsque la pollution atteint le littoral par le Préfet de département qui déclenche le plan Polmar-terre. Sans entrer dans le détail, on peut résumer quelques principes d'intervention :

- **Agir à la source.** C'est un principe essentiel qui peut se décliner par différentes actions. Alléger le navire en effectuant des opérations de transfert de la cargaison depuis le navire accidenté vers un navire alléger est une première option qui nécessite des moyens de pompage lourds. Achever le déversement de l'épave est une option qui est mise en œuvre pour éviter un déversement continu sur une longue durée ; cette option s'est traduite par exemple par le bombardement de l'épave du *Torrey Canyon* ou le pétardage de *l'Amoco Cadiz*. Le remorquage de l'épave, ou partie de l'épave, vers un port par un remorqueur est une opération qui peut être une réussite (ex. *Tanio*) ou un échec (ex. *Erika*). Le dernier principe à respecter est celui de purger la source qui a généralement sombré ; l'opération est souvent délicate, nécessitant de gros moyens techniques, qui peut être un succès dans le cas des deux épaves du *Bohlen* ou de *l'Erika* gisant par 100 à 200 mètres de profondeur. On peut se poser la question de ce qui en sera pour le *Prestige* qui git par 3800 mètres de fond, la même profondeur que l'épave du *Titanic* !
- **Confiner et récupérer les hydrocarbures en mer.** Cette double opération de confinement des hydrocarbures à l'aide de barrages et de récupération par des récupérateurs nécessite d'associer des moyens logistiques pour le stockage des hydrocarbures. Les moyens sont déployés en mer par des navires adaptés et des équipages entraînés pour ce type d'opérations, ce qui justifie la coopération entre Etats que ce soit dans le cadre de la coopération européenne (Accord de Bonn) ou d'accords bilatéraux avec la Grande Bretagne (Manche Plan), l'Espagne (Biscay Plan) et l'Italie (Ramoge). Les opérations de récupération en mer sont limitées dès que l'état de la mer devient trop agité (mer 4 à 5). Les performances restent modestes, un taux de récupération de 10% est considéré comme un succès. Dans le cas de *l'Erika*, sur les 20 000 tonnes de fuel déversés en mer, environ 1000 tonnes ont pu être récupérées dans des conditions de mer très éprouvantes pour les navires et les équipages. D'autres moyens peuvent être envisagés dans le cas de pollutions

moins importantes (ex. déversements en milieu portuaire), ce sont la récupération des hydrocarbures par des techniques de chalutage, l'absorption des hydrocarbures sur des absorbants dispersés en vrac (ex. sciure de bois dans le rapport 2 m³ pour 1 m³ d'hydrocarbures) ou sur des absorbants confinés en feuillets, boudins ou barrages.

- **Traiter la pollution.** Il est souvent demandé pourquoi on ne cherche pas à brûler les hydrocarbures en mer. Encore faut-il que les produits pétroliers bruts ou raffinés contiennent suffisamment de fractions volatiles (faible point éclair) et si le cas est envisageable, faut-il encore confiner les hydrocarbures avec des barrages thermofuges avant de provoquer leur inflammation. Les conditions de réussite sont telles qu'il vaut mieux considérer le brûlage volontaire comme ne faisant pas partie aujourd'hui de la pratique de lutte anti-pollution. L'usage des produits coulants (ex. craie) n'a heureusement plus cours, un tel traitement était un simple transfert de la pollution depuis la surface vers les fonds marins. Reste le traitement de la pollution par les produits dispersants. Ceux-ci n'ont plus rien à voir avec les premiers produits dispersants toxiques utilisés lors de l'accident du *Torrey Canyon*. Les procédures d'agrément des dispersants sont suffisamment sévères pour recueillir l'assentiment des organisations de sauvegarde de la nature. Mais l'usage des dispersants est conditionné à des contraintes liées à la nature du produit déversé, son comportement en mer et des caractéristiques bathymétriques des milieux touchés. Le produit est dispersible en mer si sa viscosité initiale n'est pas trop élevée (la limite généralement adoptée est de 2000 cSt, celle de l'eau est de 1 cSt). Le pétrole de *l'Amoco Cadiz* avait une viscosité initiale suffisamment faible (10 cSt) pour être dispersible, ce n'était pas le cas du fuel lourd de *l'Erika* (>2000 cSt). La « fenêtre » de temps pour le traitement de la pollution par produits dispersants est très limitée. En effet, le processus d'émulsification du pétrole conduit à la formation d'émulsions (jusqu'à 80% d'eau), qui s'accompagne d'une très forte augmentation de la viscosité (>10 000 cSt pour l'émulsion du pétrole de *l'Amoco Cadiz*). La troisième contrainte à prendre en compte, si l'on a un produit dispersible et un créneau de temps opérationnel, est la bathymétrie de la zone traitée. Une profondeur trop faible conduira à une dispersion trop faible des hydrocarbures dans la colonne d'eau et donc à des concentrations pouvant induire des effets toxiques pour les espèces pélagiques. Initialement, les dispersants étaient interdits dans les zones côtières par des fonds inférieurs à 50 mètres. Aujourd'hui des cartes d'exclusion d'épandage de dispersants sont établies en fonction de la bathymétrie et des quantités d'hydrocarbures déversées (1, 10 ou plus de 100 tonnes).
- **Lutter à terre.** La lutte à terre consiste à envisager de nombreuses opérations : la protection des zones sensibles, le ramassage du pétrole échoué à la côte, le nettoyage des plages, le lavage des rochers et structures bétonnées. La pelle, le seau, la tonne à lisier constituent toujours le matériel de base pour des opérations longues, fastidieuses, répétitives. Les essais, l'expérience ont optimisé l'usage de certains équipements, comme l'utilisation de cribleuses pour le nettoyage des plages ou l'usage des nettoyeurs haute pression pour le décapage des rochers. La plupart du temps, il convient d'arriver à trouver le juste compromis entre l'efficacité recherchée du nettoyage et la protection de l'environnement par rapport à des techniques de nettoyage trop agressives. La recherche de ce compromis peut être trouvée en faisant travailler conjointement techniciens de la lutte et protecteurs de l'environnement.
- **Ne rien faire.** Cette option est à prendre en compte parce que les opérations de nettoyage dans des lieux particulièrement sensibles (ex. marais maritimes) vont occasionner des dégâts supplémentaires à la pollution elle-même, parce que les hydrocarbures ne sont pas persistants, parce il vaut mieux laisser le gros de la pollution arriver à la côte avant d'envisager des opérations de ramassage. Ce sont des options qui ne sont pas toujours faciles à prendre devant les demandes des élus locaux et nécessitent des efforts d'explications.

5.5. Indemnisation des marées noires. Le processus d'indemnisation est basé sur deux conventions internationales qui mettent en place une couverture financière, celle qui porte sur la responsabilité civile du propriétaire du navire et celle qui instaure un fonds complémentaire d'indemnisation (FIPOL) alimenté par l'importateur pétrolier. Ceci représente un engagement des parties prenantes

(armateur et pétrolier) de participer à l'indemnisation des marées noires en dehors de toute faute avérée qui relève des tribunaux. La recevabilité d'une demande d'indemnisation ne concerne que les pollutions par hydrocarbures persistants. La nature de l'indemnisation est limitée aux frais de lutte et de nettoyage, aux dommages économiques liées à la propriété (maisons, bateaux,...) et aux activités économiques directement touchées par la marée noire (pêche, cultures marines, tourisme,...). Les dommages écologiques ne sont pas pris en compte dans les processus d'indemnisation.

L'évaluation des dommages fait l'objet généralement d'après discussions entre experts. Les frais de lutte et de nettoyage se négocient sur des bases relativement précises, bien que les experts des compagnies pétrolières (ITOPF) mettent généralement en cause la pertinence des opérations de lutte en mer pour la récupération du pétrole, faisant valoir les coûts excessifs par rapport à une performance réduite. L'évaluation des dommages économiques entre experts est beaucoup plus fluctuantes (dans un rapport pouvant aller de 1 à 10), parfois divergente (argumentaire pour justifier ou non la décision de la fermeture d'un port de pêche). C'est un domaine de négociation complexe où l'avis des scientifiques est souvent demandé. Ainsi, s'il est relativement facile à une autorité de décider de fermer des sites de pêche et de cultures marines en invoquant le principe de précaution, il est beaucoup plus difficile de lever cette interdiction car elle doit être basée sur des critères à définir qui sont opposables. L'exemple des paludiers de Guérande au moment de la pollution de *l'Erika* est un exemple très révélateur et navrant par certains aspects. La question était de savoir quels étaient les critères de qualité à adopter pour laisser l'eau de mer pénétrer à nouveau dans les marais salants afin de reprendre la production de sel, tout en préservant non seulement la qualité alimentaire du sel produit, mais également le marais lui-même qui par sa structure et sa fonction peut être considéré comme une « manufacture à ciel ouvert ». Le débat fit rage entre experts, les uns évoquant l'absence de normes marines et proposant de se baser sur les niveaux de référence connus avant la pollution de *l'Erika*, les autres proposant à l'autorité préfectorale les normes de qualité des hydrocarbures polycycliques dans les eaux potables !! L'écart de qualité de l'eau de mer entre ces deux positions était d'un facteur 10. L'autorité préfectorale prit la position la moins contraignante (la norme eau potable) favorable de fait au pollueur.

Un certain nombre de règles de bases régit la procédure d'indemnisation du FIPOL. Les victimes qui plaident pour une demande d'indemnisation doivent renoncer à toute poursuite judiciaire par la suite. Nul ne saurait toucher plus qu'il n'a perdu. Mais en même temps, la somme disponible est plafonnée (170 M€ remontée depuis à 249 M€) et partagée entre les victimes en proportions de leurs pertes. C'est sur cette base que les premières indemnisations des victimes du *Prestige* ne se sont vues accordées que 15% des sommes demandées. Cette position indique clairement que les victimes touchent en réalité moins qu'elles n'ont perdu.

Le dernier point qui interpelle est celui du principe pollueur-payeur qui est inscrit dans les principes de l'Union européenne. Le fait d'alimenter un fonds d'indemnisation fait en sorte que la compagnie pétrolière ne se sent pas engagée dans sa responsabilité personnelle qui existe dans le choix du navire qui transporte sa cargaison. Ceci explique bien la position du Président de TotalFinaElf au moment de la pollution de *l'Erika* qui a considéré qu'il n'avait pas de comptes à rendre puisqu'il n'avait pas commis de fautes inexcusables. Cette position est bien reflétée dans le document pédagogique sur les marées noires financé par la société Elf [1] qui indique que « ...l'importateur pétrolier qui finance la protection des victimes répercute plus ou moins intégralement ce coût sur le prix de vente des produits consommés dans les pays industrialisés, juste retour des choses puisque le risque de pollution est générée par notre consommation ».

4.6. Typologie des marées noires.

Quelle typologie adoptée pour rendre compte de la diversité des situations rencontrées, des stratégies de lutte différente selon la nature des produits déversés, des impacts prévisibles sur le milieu marin. Nous reprendrons la typologie adoptée par l'ITOPF qui se base simplement sur la densité du produit, critère suffisamment intégrateur pour prendre en compte la volatilité du produit et donc sa persistance en mer (ouverture ou non au droit à l'indemnisation du FIPOL), certaines propriétés comme la

viscosité qui conditionne la possibilité ou non de traiter par dispersants, la dispersion dans l'environnement marin qui conditionne l'impact par toxicité directe, la biodégradabilité qui conditionne sa persistance à long terme. Le mode de classification de l'ITOPF en quatre groupes montrent à nouveau les différences qui peuvent exister entre la pollution de *l'Amoco Cadiz* qui concerne le déversement d'un pétrole brut léger (groupe II) et la pollution de *l'Erika* par un fuel lourd (groupe IV).

Tableau 5- Typologie des marées noires

Groupe	I	II	III	IV
Densité	<0,80	0,80-0,85	0,85-0,95	>0,95
Pétroles bruts	-	Pétroles légers	Pétroles moyens	Pétroles lourds
Produits raffinés	Essence, kérosène	Gas oil	Fuel domestique	Fuel lourd, bitume
Exemples de marées noires	<i>Ekofisk</i>	<i>Amoco Cadiz, Braer</i>	<i>Torrey Canyon</i>	<i>Bohlen, Tanio, Erika, Prestige</i>
Comportement et effets	Faible persistance. Toxicité à court terme	Persistance moyenne à forte. Effets par toxicité et engluement		Très forte persistance. Effets principalement par engluement.
Lutte antipollution en mer	Ne rien faire	Confiner, récupérer, disperser		Confiner et récupérer
Indemnisation FIPOL	Hydrocarbures non persistants	Hydrocarbures persistants		

5- LES POLLUTIONS PAR PRODUITS CHIMIQUES

Le déversement accidentel de produits chimiques en mer se situe dans un contexte très différent de celui des hydrocarbures. Si les quantités déversées sont généralement moins importantes, la situation d'urgence est plus complexe du fait de la très grande diversité des substances chimiques transportées par voie maritime. La première priorité est d'évaluer le risque pour l'homme (équipage du navire, équipe d'intervention, populations avoisinantes) et de prendre les mesures d'urgence qui s'imposent, en considérant, d'une part la réactivité éventuelle des produits avec l'oxygène de l'air, l'eau de mer, d'autres produits transportés, pouvant conduire à des explosions ou des incendies, d'autre part leur toxicité directe liée à l'inhalation, au contact cutané ou oculaire, à l'ingestion des produits chimiques. Cette priorité dans l'urgence montre l'importance de l'accès à l'information sur les substances chimiques pour lequel le web constitue un outil inestimable. Un effort remarquable a été accompli ces dernières années pour mettre en ligne sur différents sites Internet les informations sur les substances chimiques. A titre d'exemple l'accès au « *Guide Nord-Américain des Mesures d'Urgence* », commun aux Etats-Unis, Canada et Mexique (existant en version anglaise, française ou espagnole) est disponible sur le site canadien <http://www.tc.gc.ca/canutec/>. Les fiches de données de sécurité sur les substances chimiques peuvent être consultées sur un site comme <http://www.ilpi.com>. Depuis juin 2001, l'ensemble des informations relatives au programme international sur les produits chimiques (*International Programme on Chemical Safety –IPCS*), commun aux organisations internationales travaillant dans le domaine de l'environnement (PNUE), de la sécurité au travail (OIT) et de la santé humaine (OMS), est accessible gratuitement sur Internet (<http://www.inchem.org>), permettant l'accès à de nombreux documents de synthèse, dont des monographies très documentées sur un grand nombre de produits chimiques

5.1. Accidents mettant en cause des produits chimiques. Une étude statistique réalisée par la garde côtière américaine (USCG) [6] a recensé aux Etats-Unis, sur 5 ans (1992-1996), 423 déversements de substances dangereuses à partir de navires ou d'installations à quai. La totalité de ces déversements représente une quantité de 7 500 tonnes, dont la moitié à elle seule, correspond à de l'acide sulfurique. Les 9 produits les plus fréquemment déversés représentent des produits qui se dissolvent dans l'eau

(acide sulfurique, acide phosphorique, soude caustique), des produits qui s'évaporent et/ou se dissolvent dans l'eau (acrylonitrile, acétate de vinyle) et des produits de base de la pétrochimie qui flottent et/ou s'évaporent (benzène, toluène, xylène, styrène). L'origine des déversements a lieu dans 54% des cas depuis les navires et dans 66% des cas depuis les installations à quai (le terme étant pris en tant qu'installation elle-même ou du navire installé à quai, ce qui explique que le pourcentage dépasse les 100%).

Une autre étude [7] a répertorié dans la zone de l'Accord de Bonn les accidents mettant en jeu des produits chimiques. L'analyse a été étendue à d'autres accidents renseignés survenus dans les eaux européennes et dans le reste du monde. Au total, 23 accidents/incidents ont été recensés, dont 19 dans les pays de l'Union européenne (tableau 6). Les accidents enregistrés ont eu lieu dans 80% des cas en mer durant la navigation des navires et pour 20% en zone portuaire ou en zone d'approche immédiate. Les causes des accidents sont pour 64% liées au mauvais temps et aux conséquences sur la navigation des navires et pour 36% liées à des incidents internes aux navires.

Tableau 6 – Etude de cas d'accidents/incidents en mer mettant en jeu des produits chimiques [7]

Produits transportés (nombre d'accidents/incidents)	Produits mis en jeu
Produits transportés en colis (10)	Chlore, sodium, aniline, crésol, diphenyle di-isocyanate, lindane, épichlorhydrine, white spirit, pesticides, solides inflammables, matières dangereuses diverses
Produits transportés en vrac qui se dissolvent (4)	Acide sulfurique, acrylonitrile
Produits transportés en vrac qui flottent (5)	Huile de noix de coco, huile de palme, huile de tournesol, xylène, styrène
Produits transportés en vrac qui coulent (2)	Dichloroéthane, sulfure de plomb, blé
Produits transportés en vrac gazeux ou qui s'évaporent (2)	Propane/butane/naphta, acétate de vinyle

Ces données statistiques confirment bien la diversité des cas rencontrés. Les réponses opérationnelles apportées aux cas rapportés sont bien évidemment diverses selon les circonstances des incidents/accidents, des produits chimiques incriminés et des risques encourus. Les conséquences de tels accidents sont multiples. Pour les personnes, le danger maximal est lié à l'incendie, l'explosion de matières dangereuses inflammables et réactives. Les substances concernées présentent des dangers très variables : chlore (gaz réactif et toxique), épichlorhydrine (vapeurs cancérigènes), acrylonitrile (substance toxique, inflammable), acétate de vinyle, styrène (substance inflammables, polymérisable), acide sulfurique (substance corrosive, réactive avec l'eau). Au niveau de la contamination du milieu marin, le naufrage de *l'Ievoli Sun* a montré les limites des connaissances en matière de comportement des produits chimiques déversés dans l'eau de mer ou retenus dans les citernes d'un navire coulé et de leur impact potentiel sur la flore et la faune marines [8].

5.2. Comportement à court terme des produits chimiques déversés accidentellement en mer. La connaissance du comportement d'une substance chimique déversée accidentellement en mer est essentielle pour proposer une réponse opérationnelle de lutte et appréhender la nature d'un éventuel impact environnemental. En classant les substances chimiques en quatre catégories de base, on dispose d'une première information extrêmement utile. Les substances peuvent s'évaporer, flotter, se dissoudre ou couler. Certaines substances peuvent avoir un comportement multiple ; de nombreux produits flottants peuvent s'évaporer de manière significative, formant ainsi une nappe et un nuage gazeux.

Les **produits coulants**, solides ou liquides (ex. dichlorométhane) ont une densité supérieure à celle de l'eau de mer. Au fond de la mer, ils se déplacent en fonction de l'inclinaison des fonds et s'accumulent dans les trous et tranchées. Si la densité du produit est légèrement supérieure à celle de l'eau de mer,

les courants de marée et de fond ont une incidence sur le déplacement du produit. Dans tous les cas, la topographie des fonds détermine la position ultime du produit déversé. De nombreux produits coulants ne sont pas totalement insolubles, certains se dissolvent graduellement dans la masse d'eau.

Les **produits qui se dissolvent** (ex. acides, bases) deviennent partie intégrante de la masse d'eau, ils se déplacent selon les courants. La dilution dépend de la capacité de mélange des masses d'eau.

Les **produits flottants** (ex. huiles végétales) flottent à la surface de l'eau à la manière d'un pétrole brut. Avec le temps, les substances liquides vont tendre à s'étaler pour former une couche très fine à la surface de l'eau. Comme pour les pétroles, l'étalement et le déplacement des produits flottants liquides sont fonction conjointement des vents et des courants de marée. Les produits flottants solides ont un comportement beaucoup plus marqué par leur fragmentation et leur dispersion en surface.

Les **produits qui s'évaporent** (ex. éther de pétrole) deviennent partie intégrante de l'atmosphère généralement en quelques heures, voire minutes. Les nuages gazeux se déplacent et se dispersent dans l'atmosphère en fonction des vents.

Les critères de classification du comportement à court terme des substances chimiques déversées accidentellement ont été élaborés dans le cadre des travaux de l'Accord de Bonn et figurent dans le chapitre 25 du Manuel de lutte [9]. Sur la base de leur état physique (gaz, liquides, solides) et de leurs caractéristiques physico-chimiques (densité, pression de vapeur et solubilité), les substances chimiques sont classées en 12 groupes (*tableau 7, figure 5*).

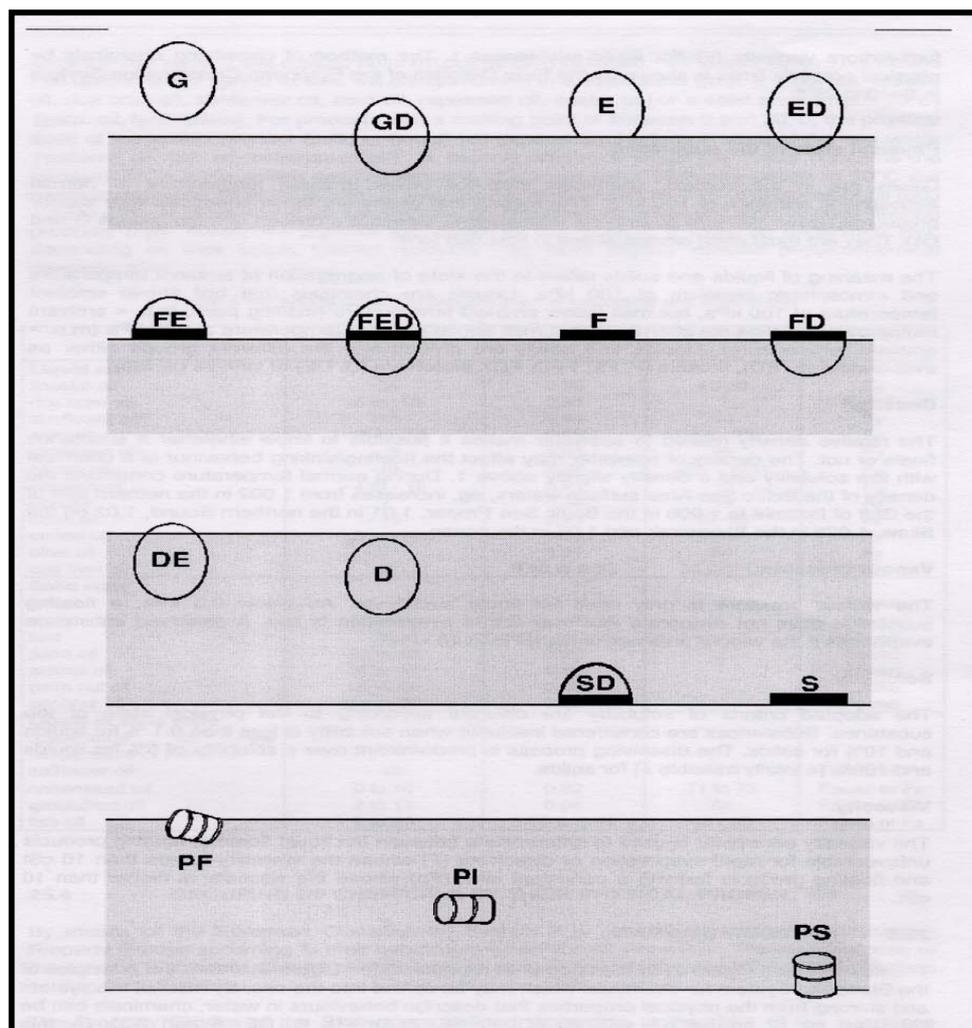


Figure 5 – Comportement à court terme des produits chimiques déversés accidentellement en mer.

Tableau 7 – Système de classification européen du comportement des substances chimiques déversées accidentellement en mer.

	Désignation	Comportement de la substances	Exemples
Produits gazeux	G	Gaz	Propane, chlorure de vinyle, chlore
	GD	Gaz qui se dissout	Ammoniac
Produits qui s'évaporent	E	Produit qui s'évapore	Benzène, hexane
	ED	Produit qui s'évapore et se dissout	Acétate de vinyle, acrylate d'éthyle
Produits flottants	F	Produit flottant	Décanol, huiles végétales
	FE	Produit flottant qui s'évapore	Toluène, xylène
	FED	Produit flottant qui s'évapore et se dissout	Acrylate de butyle
	FD	Produit flottant qui se dissout	Aniline, cyclohexanol
Produits qui se dissolvent	D	Produit qui se dissout	Acide sulfurique
	DE	Produit qui se dissout et s'évapore	Acétone, acrylonitrile
Produits coulants	S	Produit coulant	Chlorobenzène, créosote
	SD	Produit coulant qui se dissout	Dichlorométhane, disulfure de carbone

6- LES DEVERSEMENTS DE PRODUITS QUALIFIES DE NON DANGEREUX

6.1. Huiles végétales et animales. Il existe un grand nombre d'huiles végétales et animales qui sont utilisées pour l'alimentation et par l'industrie chimique pour la fabrication des savons, peintures, résines, lubrifiants, plastiques, acides gras. Les noms qui viennent communément à l'esprit sont les huiles de coco, palme, maïs, lin, olive, riz, soja, poisson, les huiles animales, le lard... Aux Etats-Unis, environ 10 millions de tonnes sont consommées annuellement. Une large part de ces huiles végétales et animales est transportée en vrac par voie maritime.

Les huiles végétales et animales sont classées dans la catégorie MARPOL D (substances pratiquement non toxiques pour la vie aquatique), ce qui autorise selon la Convention MARPOL 73/78 le rejet des eaux et des résidus de lavage des citernes dans toutes les zones de navigation (la vitesse du navire ne doit pas être inférieure à 7 noeuds, la concentration du mélange résidus/eau doit être inférieure à 10 % et le rejet doit avoir lieu au-delà de la zone des 12 milles marins).

La position adoptée par l'Agence pour la Protection de l'Environnement (EPA) aux Etats-Unis, dans le cadre de l'Oil Pollution Act de 1990, loi mise en œuvre après l'accident de *l'Exxon Valdez*, est beaucoup plus sévère. L'EPA considère que les produits pétroliers et les huiles végétales et animales ont des comportements communs en cas de déversement accidentel et induisent des effets similaires sur l'environnement. Cette position n'a pas varié malgré une demande d'assouplissement de la réglementation formulée en 1994 par diverses associations américaines professionnelles agricoles et l'industrie des corps gras.

Les huiles végétales et animales sont moins denses que l'eau ($d = 0,86 - 0,95$), insolubles et à tension de vapeur négligeable ; elles sont donc considérées comme des produits flottants. En terme de comportement à court terme, elles peuvent être classées, soit comme produit flottant solide si le point de fusion est supérieur à 30°C (ex. huile de palme, lard, suif), soit comme produit flottant liquide à caractère visqueux si le point de fusion est inférieur à la température de l'eau de mer (ex. huiles de lin, riz, tournesol, maïs, colza, ricin) . Mis à part l'absence de tout processus d'évaporation, on retrouve sensiblement les mêmes processus de comportement et de transformation de ceux habituellement

observés pour les produits pétroliers en cas de déversement accidentel : étalement, émulsification, dispersion, sédimentation, oxydation, polymérisation, hydrolyse, biodégradation. La biodégradation des huiles naturelles peut être beaucoup plus rapide que la biodégradation des hydrocarbures

En cas de déversement accidentel, les huiles végétales et animales peuvent avoir des effets sur l'environnement de plusieurs manières :

- le dépôt physique d'huile sur les plumes des oiseaux et la fourrure des mammifères peut entraîner des noyades, une hypothermie et augmenter la vulnérabilité des espèces touchées. L'huile peut également agir physiquement sur les branchies des poissons.
- La forte demande en oxygène (DBO) en cas de pollution peut aboutir à un appauvrissement du milieu en oxygène et conduire à des mortalités de poissons et autres organismes aquatiques.
- Les huiles peuvent induire des effets toxiques sur les organismes aquatiques comme poissons ou coquillages à partir de certains de leurs constituants (ex. acides gras spécifiques) ou produits d'oxydation.
- La modification de propriétés organoleptiques (« tainting ») est également évoquée.
- Les dépôts de résidus huileux sur la côte et les plages peuvent conduire à des émanations d'odeurs rances et à une réduction de l'agrément de certains sites (plages).

Différents accidents ont justifié la position particulièrement sévère adoptée par les autorités américaines vis-à-vis des conséquences des déversements d'huiles végétales ou animales :

- Echouement du *Lindenbank* sur un atoll du Pacifique avec un déversement de 1000 à 2500 tonnes d'huile de noix de coco et de palme : mortalités de poissons, crustacés et mollusques observées sur 11 mois,
- Déversement de 4000 à 5000 tonnes d'huile de soja dans des cours d'eau du Minnesota : mortalités de milliers d'oiseaux, notamment des canards,
- Naufrage du *Kimya* au Pays de Galles avec un déversement de 1500 tonnes d'huile de tournesol : mortalités de moules, polymérisation et formation d'aggrégats présents 6 ans plus tard sur le littoral ,
- Déversement en mer d'huile de poisson depuis deux usines en Afrique du Sud : mortalités d'environ 5000 cormorans, de pingouins, homards, mollusques, crevettes, persistance d'odeurs rances sur le littoral,
- Déversement de 5 tonnes d'huile de colza dans le port de Vancouver : mortalités de quelques 500 oiseaux.
- En France, au large des côtes du Cotentin, une collision dans un épais brouillard, impliquant le citernier libérien *Allegra* a occasionné en octobre 1997 le déversement en mer de 900 tonnes d'huile de noyau de palme, dont une partie s'est échouée sur les îles anglo-normandes

6.2. Les produits alimentaires. Le déversement massif de produits alimentaires dans les eaux se traduit par une surcharge de matière organique dont la dégradation entraîne une forte consommation d'oxygène, pouvant conduire à l'anoxie du milieu et à des mortalités parfois importantes de poissons. Un premier exemple eut lieu en 1995 avec l'échouement du cargo *Infiniti* sur le récif corallien du parc marin de Curaçao dans les Antilles Hollandaises. En dépit de plusieurs tentatives de remorquage, le navire sombra et déversa 400 tonnes de riz sur les récifs coralliens. Un mois après l'accident, les observations réalisées par plongeurs indiquaient qu'environ 8 500 m² de récifs coralliens étaient détruits dans la zone de dépôt du riz, sans tenir compte d'effets intermédiaires sublétaux dans la zone touchée. Il était reconnu que si une action rapide avait été conduite pour enlever le riz, la plus grande part des dommages observés aurait été évitée.

Le dernier exemple, plus détaillé concerne les conséquences du naufrage du céréalier *Fenes* dans les Bouches de Bonifacio au sud de la Corse en septembre 1996. Le navire transportait 2650 tonnes de blé qui se sont répandues par des fonds de 10 à 20 mètres, dans la réserve naturelle des îles Lavezzi, avec une destruction d'environ 2 500 m² d'herbiers de posidonies. Le Préfet maritime mettait en demeure l'armateur de retirer le fuel du navire, l'épave et sa cargaison. Le blé accumulé sur une épaisseur

variant de 0,5 à 2 m était pompé sur une barge et réimmergé en mer au large par des fonds de plus de 300 m. Très rapidement, les plongeurs constatèrent le noircissement et la corrosion de leurs ceintures de plomb, le personnel à bord de la barge subissait des odeurs pestilentielles et souffrait de maux de tête et de nausées. La zone de dépôt de blé était devenue un véritable réacteur chimique. La fermentation du blé en condition anoxique conduisait au développement de la microflore sulfato-réductrice qui transformait l'ion sulfate de l'eau de mer (anion majeur) en hydrogène sulfuré, gaz toxique. Les concentrations d'hydrogène sulfuré mesurées sur la barge dépassaient les valeurs seuils autorisées en milieu professionnel, conduisant le Préfet à ordonner la fermeture du chantier pour des raisons de sécurité sanitaire et à préconiser le port de masques pour la reprise du chantier. Le *Cedre* a étudié de près le problème de la fermentation du blé qui n'a pas été sans effet sur le milieu marin ; les concentrations observées dans l'eau de mer (10 – 112 μM) se situaient dans la gamme des doses létales pour les poissons (3 – 25 μM) [10].



7 – CONCLUSIONS

Comportement. La connaissance du comportement d'un produit déversé accidentellement en mer est un élément indispensable pour définir les options de lutte et appréhender la nature de l'impact environnemental. De nombreux travaux ont été consacrés aux hydrocarbures, permettant selon la nature et les caractéristiques des pétroles bruts et des produits raffinés de distinguer entre les hydrocarbures persistants et les hydrocarbures non persistants, d'établir des scénarios de comportement, permettant de faciliter la modélisation de la dérive des nappes et d'envisager des modèles de dispersion dans l'environnement, en terme de fractions évaporées, dissoutes, dispersées et émulsionnées. Malgré l'importance des études réalisées, l'accident de *l'Erika* a montré que tous les éléments de prévision du transport, de la fragmentation et de la dispersion d'un fuel lourd étaient encore loin d'être entièrement acquis. Une telle démarche est tout autant nécessaire pour les produits chimiques. Nous avons vu que le système de classification européen du comportement des produits chimiques déversés, appliqué dans le cadre de l'Accord de Bonn, repris dans les manuels de pollution chimique accidentelle (OMI), permet de définir des types de comportement à court terme sur la base de caractéristiques simples de la substance. Cette base de connaissance mérite d'être validée expérimentalement sur des produits tests : validation des critères physico-chimiques adoptés, influence des conditions environnementales (vent, état de la mer, turbidité, ...). La validation d'un tel système devrait faciliter la modélisation du transport et de la dispersion des produits déversés.

Renforcement de la capacité d'expertise nationale. Suite à la pollution de *l'Erika*, le CIADT du 28 février 2000 a rappelé le besoin de développer et de renforcer la capacité et la cohérence de l'expertise au niveau national. La nouvelle instruction Polmar (avril 2001) a souligné la nécessité de disposer d'une capacité d'expertise. Au niveau institutionnel, l'Ifremer avait déjà engagé 3 ans auparavant une première réflexion sur l'analyse des risques des substances chimiques en milieu marin, conduisant à une volonté de rapprochement avec l'Ineris. Compte tenu des complémentarités de missions et de compétences des deux instituts, une cellule mixte d'analyses des risques chimiques en milieu marin (ARC) a été créée et basée depuis 2001 au Centre Ifremer de Nantes.

Sécurité maritime La Sécurité maritime est assurée par les Etats qui incarnent normalement l'intérêt général. L'Etat assure une double responsabilité, d'une part lorsqu'il immatricule un navire en lui donnant sa nationalité (pavillon) et en lui fournissant les certificats de navigation réglementaire (Etat du pavillon), d'autre part lorsqu'il autorise un navire d'un autre pays à entrer dans un de ses ports (Etat du port). Dans le droit international, les contrôles des navires incombent essentiellement à l'Etat du pavillon. L'Etat du port (contrôle des navires) agit plus comme un filet de sécurité. Le contexte de libéralisation économique a amené à une explosion des pavillons de complaisance durant les 15 dernières années, permettant largement de contourner les obligations internationales. Les pavillons de complaisance représentaient 5% du tonnage brut en 1945, 30% en 1980 et atteint aujourd'hui 64%. Dans une telle situation, le contrôle de l'Etat du pavillon devient très souvent une fiction, se traduisant pour les équipages par l'absence de réelle protection sociale et de conventions collectives.

Cette situation est largement due au désengagement progressif depuis 25 ans des grandes compagnies pétrolières qui externalisent leur flotte, créant ainsi les conditions pour l'apparition d'armateurs indépendants qui offrent souplesse et flexibilité dans le marché maritime. A titre d'exemple, le développement de l'acheminement des produits pétroliers au marché « spot » (c'est à dire coup par coup, ce qui signifie des navires a priori peu fiables) a augmenté en 25 ans, passant depuis 1974, de 10 à 50%. Dans un tel contexte, la création des « *One-Ship-Company* » par montage financier permet à la société ainsi créée de disparaître ou de faire faillite en cas de naufrage de son seul navire (ce fût le cas pour les naufrages de *l'Erika* et du *Prestige*), ce qui nécessite de s'engager dans des procédures judiciaires longues pour retrouver les vrais responsables de ces accidents. L'une des conclusions du Bureau Enquête Accident (BEA) après le naufrage de *l'Erika* était que les navires les moins sûrs transportent les produits les plus polluants. Force est de constater que les 3 navires qui se sont brisés tout seul en charge durant leur navigation (*Tanio*, *Erika* et *Prestige*) transportaient du fuel lourd. Il semble clair que la logique libérale actuelle du tout profit ne milite pas vers une meilleure sécurité maritime pour les équipages et pour une meilleure protection de l'environnement

REFERENCES

- [1] **Elf (1998)** Mieux comprendre l'environnement : les marées noires. Elf. Direction Recherche, Technologie, Environnement, Paris : 56 pp
- [2] **GESAMP (2002)** The revised GESAMP hazard evaluation procedure for chemical substances carried by ships. *Reports & Studies*, n°64 (<http://gesamp.imo.org>)
- [3] **Marchand M. (1999)** Pollutions d'origine maritime le long des côtes françaises. *Bull. d'information du Cedre*, n°12.
- [4] **Romer H., H. Palle & P.H.J. Styhr (1998)** Exploring environmental effects of accidents during marine transport of dangerous goods by use of accident descriptions. *Environmental Management*, 20(5) : 753-766
- [5] **ITOPF** (« *International Tanker Owners Pollution Federation* »): <http://www.itopf.org>
- [6] **Anonyme (1999)** Most spills near Gulf, most spillages inland, most were acid. *Hazardous Substances Spill Report*, vol II(8), April 1999.
- [7] **Marchand M. (2002)** Chemical spills at sea :case studies. In : *The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology*, ed. M. Fingas, Mc Graw-Hill, chap 43.
- [8] **Girin M. & C. Rousseau (2001)** Naufrage de *l'Ievoli Sun*, les Casquets (Manche), 31 octobre 2000. *Bulletin d'Information du Cedre*, n°14

[9] **Bonn Agreement (1994)** « Bonn Agreement : Counter-Pollution Manual » Ed. Bonn Agreement, London (UK), chap. 25.

[10] **Marchand M., Le Guerroue P., Jacq F. & Fily B. (1998)** : Accident du *Fenes* : aspects bactériologiques et chimiques de la fermentation du blé en milieu marin. *Congrès du CIESM*, Dubrovnik (Croatie) 1-8 juin 1998