

Le projet CLARA

Un système d'aide à la lutte contre les pollutions chimiques accidentelles en milieu marin

Madame Dominique de Talancé, premier juge d'instruction au Tribunal de grande instance de Paris vient de clore l'instruction de la catastrophe du naufrage de l'*Erika*, le 12 décembre 1999 au sud de la pointe de Penmarch en Bretagne (ordonnance du 1^{er} février 2006). Onze personnes physiques, la société de classification RINA et trois personnes morales du groupe Total sont renvoyées devant le tribunal correctionnel. Nous présenterons dans le prochain numéro cette importante décision de justice, ce qui permettra de mieux comprendre le développement ultérieur du procès pénal, dont la date n'est pas encore fixée.

Ce volet pénal des naufrages des navires transportant des hydrocarbures et des produits chimiques ne doit pas occulter l'importance qu'il convient d'accorder aux réponses qui permettent d'en limiter les impacts dommageables. L'école des mines d'Alès, le CEDRE, l'IFREMER, l'INERIS et Météo France se sont associés pour proposer un outil informatique permettant une modélisation des rejets en mer de produits chimiques. Cependant, il ne concerne pas les hydrocarbures.

EN QUELQUES DÉCENNIES, les côtes et les mers européennes ont enduré un nombre croissant d'accidents environnementaux de type pollutions chimiques. Pour mémoire, rappelons l'accident du *levoli-Sun*, le 31 octobre 2000 (Figure 1), qui transportait 4 000 tonnes de styrène ou le naufrage du *Balu*, le 20 mars 2001 dans le golfe de Gascogne, chargé de 8 000 tonnes d'acide sulfurique. Tous ces accidents, inhérents au développement des activités humaines et à son environnement économique, entraînent des effets toxicologiques et éco-toxicologiques graves sur la faune et la flore maritimes et parfois sur l'homme. Lorsqu'un sinistre survient, outre les actions prises dans le but de prévenir toutes les pollutions (comme un durcissement de la réglementation, des contrôles et des sanctions plus sévères), les populations et les pouvoirs publics aspirent à une gestion plus rapide et plus efficace des pollutions pour en limiter les conséquences. À ce jour, les autorités françaises amenées à prendre des mesures de lutte, de protection sanitaire ou économique lors d'une pollution marine (issue d'un navire) disposent d'un faible nombre d'outils informatiques rapides, simples et fiables d'aide au diagnostic en situation de crise. En effet, il existe peu de logiciels permettant d'informer

sur l'évolution d'un polluant chimique dans la masse d'eau ou dans l'atmosphère après évaporation et de renseigner sur les potentialités de bioaccumulation de cette substance par les organismes marins. Le logiciel MOTHY, développé par Météo France, traite surtout des rejets de produits polluants en surface ou en sub-surface et non solubles dans l'eau de mer, tandis que le logiciel ADIOS, développé par la NOAA (National Ocean & Atmospheric Administration) aux États-Unis, renseigne sur le devenir physico-chimique des produits pétroliers déversés en milieu marin, permettant d'évaluer les risques potentiels à court terme sur l'homme.

C'est dans ce contexte particulier et sensible de la gestion des crises du type pollution marine que s'inscrit le projet CLARA (Calcul liés aux rejets accidentels en mer). Cet outil informatique opérationnel permettra la modélisation des conséquences des rejets accidentels de produits chimiques non-hydrocarbures en mer. Ce projet est mené, depuis novembre 2003, par l'école des mines d'Alès, le CEDRE, l'IFREMER, Météo France et l'INERIS (cellule ARC) dans le cadre du projet RITMER du ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche (MJENR). »

par **Laurent Aprin**

dans le cadre d'un projet de recherche animé par **Gilles Dusserre** et comprenant :

Aurélia Bony-Dandrieux, François Cabioc'h, Vincent Gouriou, Sébastien Legrand, Pascal Lazure, Stéphane Pous, Michel Marchand, Alice James et Pierre Daniel

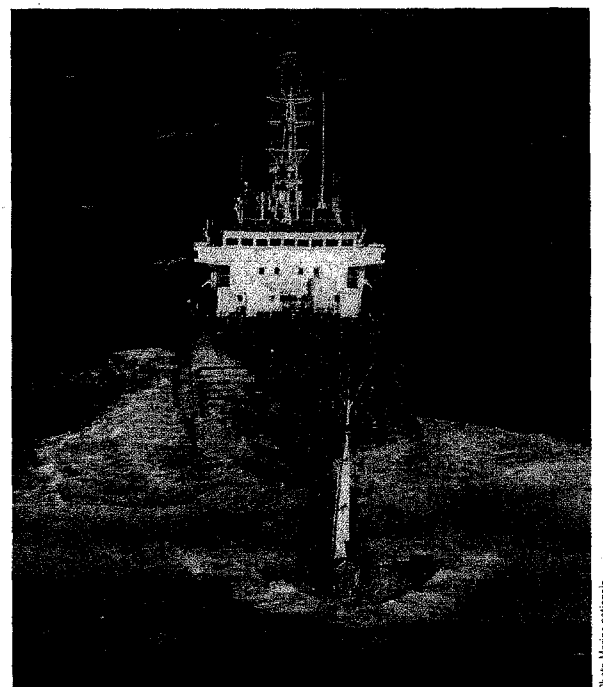


Figure 1 : Naufrage du chimiquier italien *levoli Sun* au large du Finistère, le 31/10/00.

L. Aprin, G. Dusserre et A. Bony-Dandrieux travaillent au laboratoire « Génie de l'environnement industriel » (LGEI) de l'école des mines d'Alès, **F. Cabioc'h, V. Gouriou et S. Legrand** au service « Intervention » du Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE), **P. Lazure et S. Pous** au service « Applications opérationnelles » (DEL/AO) de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), **M. Marchand et A. James** à la cellule « Analyse des risques chimiques en milieu marin » (ARC) de l'IFREMER, **et P. Daniel** à la direction de la prévision (division « Marine et océanographie ») de Météo France.

Le projet CLARA (suite)

Ce projet s'articule autour de quatre grandes phases. Dans un premier temps, une analyse de l'existant a permis de sélectionner le type de produits mis en jeu lors de pollutions chimiques en mer. La deuxième phase consiste à élaborer une base de données physico-chimiques, écotoxicologiques et toxicologiques et à modéliser les mécanismes hydrodynamiques maritimes, le comportement des produits dans l'eau ainsi que la dispersion atmosphérique, dans le cas d'un produit volatil. La troisième phase concerne l'interface de visualisation des résultats. Ces deux phases sont actuellement en cours. Enfin, la dernière phase consistera en la validation du projet CLARA, à travers une analyse détaillée du logiciel par un groupe d'experts et par un exercice en situation réelle.

Cet article présente l'ensemble des travaux réalisés (sélection des produits, analyse du trafic et accidentologie maritime) et ceux actuellement en cours (modélisation de la dispersion aquatique et atmosphérique).

Sélection des substances chimiques pouvant être déversées

La connaissance du comportement à court terme des produits chimiques rejetés, sur la base de leurs caractéristiques physico-chimiques, conditionne le choix des modèles de simulation à mettre en œuvre et permet d'appréhender plus finement les niveaux de contamination prévisibles dans le milieu marin. Une sélection des produits chimiques à intégrer dans le projet CLARA a donc été réalisée, en prenant en compte quatre critères représentés par différents indices :

- l'aléa (trafic maritime et accidentologie),
- le comportement physico-chimique à court terme suite à un déversement accidentel¹,
- leur présence ou non parmi les substances prioritaires dans les listes de la convention OSPAR², de la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE³,

de la directive 76/464/CEE⁴ et du règlement 793/93/CEE⁵,
• la classification européenne SEBC⁶,

Analyse du trafic maritime

Au cours des vingt dernières années, le transport maritime et le stockage portuaire des matières chimiques se sont considérablement développés. Bien que dominée par les échanges d'hydrocarbures, la part des produits chimiques dans le transport maritime augmente de plus en plus. Ainsi, si l'on prend l'exemple de la Manche, le transport de produits chimiques est passé de 30 millions de tonnes en 1988 à 150 millions de tonnes en 2000, ce qui représente une multiplication par cinq en douze ans⁷. Cette croissance soulève la question du risque d'accidents, qui est d'autant plus important que la fréquentation augmente. Pour prévenir et intervenir au mieux lors d'accidents de ce genre, il convient de connaître le trafic maritime des produits chimiques. Pour ce faire, une étude statistique a été réalisée afin d'identifier les produits chimiques les

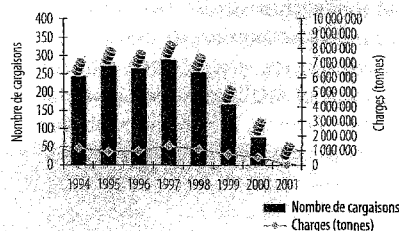


Figure 2 : Évolution du trafic du benzène.

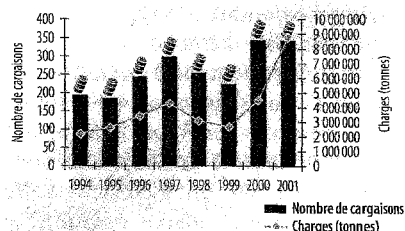


Figure 3 : Évolution du trafic des huiles.

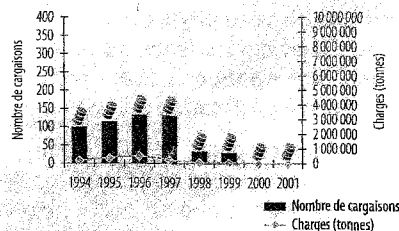


Figure 4 : Évolution du trafic des oléfines.

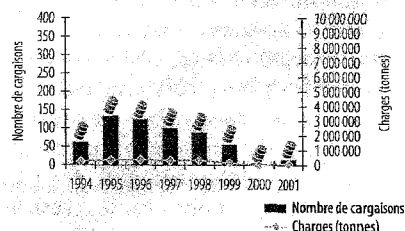


Figure 5 : Évolution du trafic du xylène.

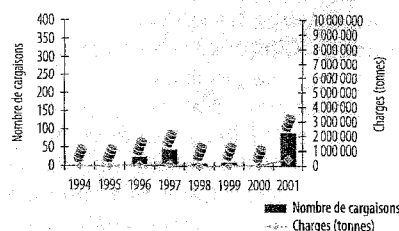


Figure 6 : Évolution du trafic des alcools.

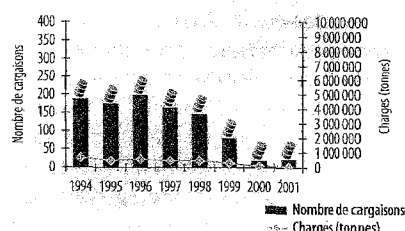


Figure 7 : Évolution du trafic du styrène.

1. Marchand M., 2003, « Les pollutions marines accidentelles. Au-delà du pétrole brut, les produits chimiques et autres déversements en mer », Responsabilité & Environnement, *Annales des mines*, p. 70 à 92.
2. Convention OSPAR, 1992, Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est.
3. Directive n°2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, JOCE n°L 327 du 22 décembre 2000.
4. Directive 76/464/CEE du Conseil, du 4 mai 1976, concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la communauté, Journal officiel n°L 129 du 18/05/1976 p. 2 à 29.
5. Conseil européen (1993). Règlement du Conseil n° 793/93/CEE du 23 mars 1993 concernant l'évaluation et le contrôle des risques présentés par les substances existantes, JOCE n°L 84 du 5 avril 1993 et Rectificatif JOCE n°L 224 du 3 septembre.
6. GESAMP 2002, *Revised GESAMP hazard evaluation procedure for chemical substances carried by ships*. London GESAMP, (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP). Joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection : 126.
7. CEDRE, 2001a. *Prise en compte du risque chimique en zone portuaire et en haute mer : état de la situation*. R. Cedre 01.51.C/3041. Décembre 2001.

plus transportés en termes de fréquence et de tonnage. Les données nécessaires à ce travail ont pu être recueillies en consultant les données des Centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS) relatives au trafic maritime⁸. L'exemple de l'étude statistique élaborée par la Commission d'études pratiques de lutte antipollution (CEPPOL)^{8/9} a permis de dresser une liste de tous les produits chimiques qui ont pu entrer ou sortir de la Manche, en empruntant le rail d'Ouessant entre 1994 et 2001. Grâce à ces données, il est possible d'établir une liste des produits rencontrés, de leurs tonnages et de leurs fréquences de passage respectifs. Ainsi, au cours des dix dernières années, 164 produits chimiques différents ont transité en Manche¹⁰. Les plus rencontrés (en terme de fréquence et de tonnage cumulés sur dix ans) sont le benzène, les huiles végétales et animales, les oléfines (ou alcènes), le xylène, les alcools et le styrène. Pour ces substances, il a été possible de suivre l'évolution du trafic en Manche entre 1994 et 2001 (figures 2 à 7). Ces figures montrent que ce sont les huiles végétales et animales qui sont les plus transportées en Manche (aussi bien en nombre de cargaisons qu'en tonnage). De plus, le trafic des huiles, comme celui des alcools, tend à augmenter, contrairement à celui des autres produits cités qui baisse et ce malgré l'augmentation du trafic global des produits chimiques. Le xylène, par exemple, n'a pas été répertorié en 2000 et 2001. Par contre, pour les huiles, le tonnage comme le nombre de cargaisons augmente : de 192 cargaisons et 2,2 millions de tonnes d'huiles transportées en 1994, on passe à 341 cargaisons et 8,2 millions de tonnes en 2000.

Cependant, cette analyse n'intègre pas le type de conditionnement (conteneurs, fûts, vraciers...), qui est pourtant un paramètre important à prendre en considération car les risques encourus ne sont pas les mêmes en cas d'incident avec un

chimiquier transportant plusieurs milliers de tonnes ou un porte-conteneurs transportant quelques tonnes de produits chimiques. Aussi, il a été décidé de procéder à l'analyse de l'accidentologie maritime ayant entraîné des déversements de produits chimiques, afin d'obtenir une information complémentaire sur les modes de conditionnement et sur les types de navires impliqués dans des accidents.

Accidentologie maritime

Ainsi, de 1947 à 2002, 69 accidents maritimes ayant entraîné une pollution chimique ont pu être identifiés, dans le monde entier^{11/12}. Leur étude a montré que les navires citernes et les cargos sont les navires qui ont été le plus souvent impliqués dans un accident (figure 8). En complément à cette analyse, une étude du mode de conditionnement des produits chimiques déversés en mer a été réalisée (figure 9). Il ressort que la majorité des pollutions chimiques est due à la rupture des cuves des navires suite à une collision, à un échouage ou à une explosion à bord¹¹. Cette dernière, qui est la plus fréquente, est généralement à l'origine d'un déversement important de produits chimiques à la mer et, de ce fait, à l'origine de pollutions majeures. C'est le conditionnement en fûts, cylindres ou petites citernes qui arrive en seconde position. Ces cargaisons sont le plus souvent transportées à bord de cargos et de porte-conteneurs, et les accidents correspondent à des pertes en mer de ces fûts suite à des conditions météo-océaniques défavorables. Cette analyse des accidents maritimes a permis de souligner les points suivants, parmi la multitude de substances transportées quotidiennement, l'acide sulfurique est le produit chimique le plus impliqué dans les accidents aussi bien en termes de fréquence qu'en termes de quantités déversées. Très schématiquement, il est possible de discerner deux types de risques liés à des incidents chimiques, d'une certaine manière indé-

pendamment de la forme du transport maritime des produits, en vrac ou en colis : ceux touchant les personnes (équipage, personnel d'intervention, population environnante)¹³ et ceux concernant plus spécifiquement l'environnement.

Ces études ont donc conduit à une liste contenant 33 substances à étudier en priorité parmi lesquelles se trouvent les plus fréquemment transportées dans les chimiquiers et vraciers, couvrant les principaux comportements physico-chimiques et les produits les plus dangereux (tableau 1). Actuellement, ces produits regroupent uniquement des substances pures (pas de mélange). »

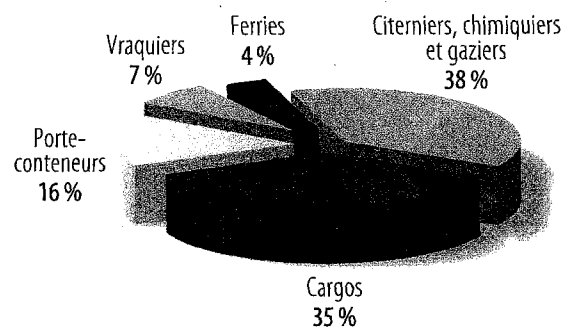


Figure 8 : Répartition en pourcentage des types de navires impliqués dans des accidents ayant entraîné des déversements de produits chimiques.

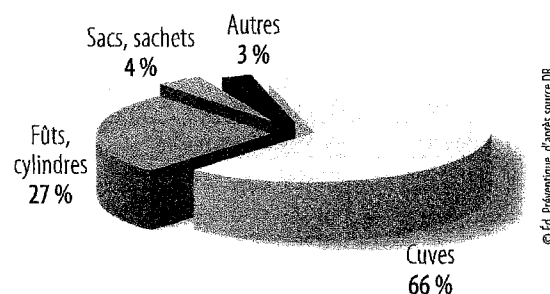


Figure 9 : Répartition en pourcentage des différents modes de conditionnement.

8. CEPPOL, 2001. *Statistique sur le trafic maritime en Manche*. CEPPOL, Commission d'études pratiques de lutte antipollution. Marine nationale.

9. CEDRE, 2001b. *Localisation des POLREP confirmés pour l'année 2000*. Source : Analyse et exploitation des POLREP reçus au Cedre pour l'année 2000. R. CEDRE 01.23.C/3351.

10. CEDRE, 2003. *Étude du comportement des produits chimiques déversés en mer : expérimentations en laboratoire et à l'échelle pilote*. R. CEDRE 03.03.C. Mars 2003.

11. BARPI, 2003, explosion du vraquier chinois Fu Shan Hai, jaugeant 70 000 t et contenant un chargement de 66 000 t d'engrais, 1 600 t de fuel lourd, 110 t de diesel et 55 t d'huile de vidange à 4 miles nautiques au nord de l'île danoise de Bornholm, ARIA N° 24687.

12. CEDRE, 2000b. *Comportement, devenir et impact des substances chimiques déversées accidentellement en mer. Études bibliographiques orientées prioritairement sur*

les produits flottants en vue de préciser les paramètres opérationnels. R. CEDRE 00.27.C.

13. BARPI, 2004, Le chimiquier Bow Mariner, long de 174 m, battant pavillon de Singapour et transportant 13,3 millions de litres d'éthanol industriel, explose et sombre à environ 80 km au large des côtes de Virginie vers 18 h (23 h GMT). Trois des 27 membres de l'équipage sont tués et 18 autres portés disparus. L'explosion s'est produite après un incendie sur le pont du bateau, Aria N° 26651.

Le projet CLARA (suite)

Suite à la sélection des produits dits « préoccupants », au sens transport maritime, une base de données informatique des caractéristiques essentielles des produits a été réalisée. Cette base de données répertorie les paramètres physico-chimiques (densité, point de fusion, solubilité dans l'eau, viscosité, tension superficielle...), les données concernant la bioaccumulation (facteur de bioconcentration, coefficient de partage octanol-eau) et les données écotoxicologiques (concentration prédite sans effet sur l'environnement) et, enfin, les paramètres toxicologiques (effets potentiels sur l'homme). Ces données permettent de déterminer, d'une part, le comportement à court terme des produits en cas de déversement accidentel, défini selon les critères de classification européenne

(accord de Bonn), et, d'autre part, d'évaluer des risques chimiques dans l'environnement marin, selon la démarche adoptée par le guide européen d'évaluation des risques chimiques ou TGD (*Technical Guidance Document*)¹⁵. Les paramètres physico-chimiques à retenir pour évaluer le comportement des substances et leur contribution pour chaque processus sont présentés dans le tableau 2.

Écotoxicité des produits

Le travail de recherche des données qui alimenteront le projet CLARA a mis en évidence la grande quantité des données physico-chimiques, mais aussi la disponibilité très inégale des données d'effets en fonction des substances concernées. Ainsi, alors que la plupart des données physico-chimiques indispensables à la modélisation sont répertoriées, les données écotoxicologiques validées sont parfois difficiles à collecter. Dans le cadre du projet CLARA, il a été décidé de définir trois zones de risques autour du point de

déversement accidentel. Les limites de ces zones de risques sont les concentrations prédites sans effet sur les organismes pélagiques estuariens et marins à court terme ou PNECs (*Predicted No Effect Concentration*). Ces PNECs sont définies pour des expositions à court terme (PNEC court terme) ou long terme (PNEC long terme).

La PNEC court terme est obtenue à partir des données validées d'écotoxicité aiguë et correspond à un seuil de protection du milieu aquatique en cas de rejets ponctuels. Cette méthode de dérivation s'inspire de la méthodologie employée par le TGD¹⁵ dans le cas de rejets intermittents. La détermination de la PNEC long terme, est, quant à elle, réalisée à partir des données validées d'écotoxicité chronique¹⁶. La méthode de dérivation est, dans ce cas, celle recommandée par le TGD¹⁵.

Les trois zones de risque délimitées par ces PNECs seront représentées par l'intermédiaire d'un système d'information géographique (SIG, figure 10).

Nom	N° CAS	Nom	N° CAS
Acétate d'éthyle	141-78-6	Ethylène Glycol	107-21-1
Acétate de vinyle	108-05-4	Hydroxyde de sodium	1310-73-2
Acide acétique	64-19-7	MDI	26447-40-5
Acide phosphorique	7664-38-2	Méthanol	67-56-1
Acide sulfurique	7664-93-9	MIC	108-10-1
Acrylate d'éthyle	140-88-5	MTBE	1634-04-4
Acrylonitrile	107-13-1	Naphtalène	91-20-3
Ammoniaque	1336-21-6	Nonylphénols	25154-52-3
Benzène	71-43-2	Ortho-crésol	95-48-7
Biphényle	92-52-4	Phénol	108-95-2
Chlorure de vinyle	75-01-4	Styrène	100-42-5
DEHP	117-81-7	Toluène	108-88-3
1,2-Dichloroéthane	107-06-2	1,1,1-Trichloroéthane	71-55-6
Dichlorométhane	75-09-2	1,1,2-Trichloroéthane	79-00-5
Dodécylbenzène	123-01-3	Urée	57-13-6
Epichlorhydrine	106-89-8	Xylènes	1330-20-7
Ethylbenzène	100-41-4		

Tableau 1 : Liste des substances sélectionnées pour le projet CLARA¹⁴.

Propriétés physico-chimiques	Unité	Information sur
Hydrosolubilité	mg.L ⁻¹	la capacité de la substance à se dissoudre dans l'eau
Point de fusion	°C	l'état physique de la substance à une température donnée
Densité à 20°C par rapport à une eau à 4°C	-	la capacité de la substance à couler par différence de densité
Viscosité	cSts	la capacité des substances flottantes à s'étaler en surface
Tension superficielle	mN.m ⁻¹	
Constante de dégradation par hydrolyse	jour ⁻¹	la capacité des substances à s'hydrolyser
Temps de demi-vie après hydrolyse	jours	
Constante de dégradation par photolyse	jour ⁻¹	la capacité de la substance à être photolysée dans l'eau
Temps de demi-vie après photolyse	jours	
Constante de biodégradation	jour ⁻¹	la capacité de la substance à être biodégradée par les micro-organismes du milieu
Temps de demi-vie après biodégradation	jours	
Coefficient de partage octanol-eau (Log-Kow)	-	la capacité de la substance à être bioaccumulée dans les organismes aquatiques
Facteur de bioconcentration (BCF)	-	
Coefficient de partition carbone organique-eau (Koc)	-	la capacité de la substance à s'adsorber sur le matériel particulaire
Température d'ébullition (t _e) à 1013 hPa	°K, °C	
Chaleur spécifique du solide à 25 °C	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	
Enthalpie de vaporisation à t _e	J.kg ⁻¹	
Densité de vapeur	-	
Pression de vapeur à 20°C ou 25°C	Pa	
Constante de Henry	Pa.m ³ .mol ⁻¹	

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques permettant d'évaluer le comportement des substances et leur contribution pour chaque processus.

14. James A., 2005, *Mise au point d'un logiciel opérationnel de modélisation des rejets accidentels de produits chimiques flottants ou coulants, solubles ou insolubles et de produits mixtes : CLARA, Calculs Liés Aux Rejets Accidentels en mer*, rapport IFREMER.

15. E.C. (2003). *Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) N°1488/94 on risk assessment for existing substances and Commission Directive (EC) 98/8 on biocides*, Commission européenne.

16. James A., Marchand M., 2005, *Marine hazard assessment based on existing exotoxicity data : a challenge for scientists ?* Oral Presentation. Platform session TU5-2 : Marine ecological risk assessment. 15^e rencontre annuelle du SETAC Europe. 22-26 mai 2005, Lille.

Simulation des comportements

La connaissance du comportement d'une substance chimique déversée accidentellement en mer est essentielle pour évaluer son impact environnemental et proposer une réponse opérationnelle de lutte¹. Lors d'un déversement accidentel, le devenir du (ou des) produit(s) chimique(s) déversé(s) est multiple et dépend directement de leur nature chimique, c'est-à-dire des valeurs de leurs constantes physico-chimiques, ainsi que des conditions météo-océaniques sur le lieu du déversement. L'ensemble des processus définissant le comportement d'un produit chimique est illustré par la figure 11. En classant les substances chimiques en quatre catégories de base, on dispose d'une première information extrêmement utile. En effet, les substances peuvent s'évaporer, flotter, se dissoudre ou couler. Certaines substances peuvent avoir un comportement multiple. Ainsi, de nombreux produits flottants peuvent s'évaporer de manière significative, formant une nappe et un nuage gazeux.

- Les produits coulants solides ou liquides (ex. le dichlorométhane) ont une densité supérieure à celle de l'eau de mer. Ils se déplacent en fonction de l'inclinaison des fonds et s'accumulent dans les fosses 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. Par ailleurs, de nombreux produits coulants ne sont pas totalement insolubles, certains se dissolvent dans la masse d'eau.

- Les produits qui se dissolvent (ex. les acides et les bases) deviennent partie intégrante de la masse d'eau et se déplacent selon les courants. La dilution dépend de la capacité de mélange des masses d'eau.
- Les produits flottants (ex. les huiles végétales) flottent à la surface de l'eau. Avec le temps les substances liquides vont tendre à s'étaler pour former une couche très fine à la surface de l'eau. 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 quelques minutes. Les nuages gazeux se déplacent et se dispersent dans l'atmosphère en fonction des vents.

Modélisation de l'hydrodynamisme marin

Après avoir identifié et caractérisé les produits, l'étude s'est orientée vers la partie modélisation. Cette deuxième phase, actuellement en cours de développement, s'articule autour de trois unités de simulation. La première unité de calcul concerne la modélisation de l'hydrodynamisme et utilise le modèle MARS3D, développé par l'IFREMER pour décrire le transport et le mélange des polluants chimiques. En cas d'accident et afin de prédire le devenir du produit déversé, il est primordial de pouvoir estimer l'évolution des courants marins. Le modèle MARS3D calcule à partir des équations primitives de la mécanique des fluides, sous l'hypothèse hydrostatique, la structure tridimensionnelle des courants. Les modèles hydrodynamiques développés comportent deux échelles d'espace différentes, l'échelle de la façade (500 km et plus) et l'échelle régionale (de l'ordre de la centaine de km). Les modèles de façade pour la Manche et l'Atlantique comportent des

Figure 11 : Les différents processus qui déterminent le comportement d'un produit déversé en mer

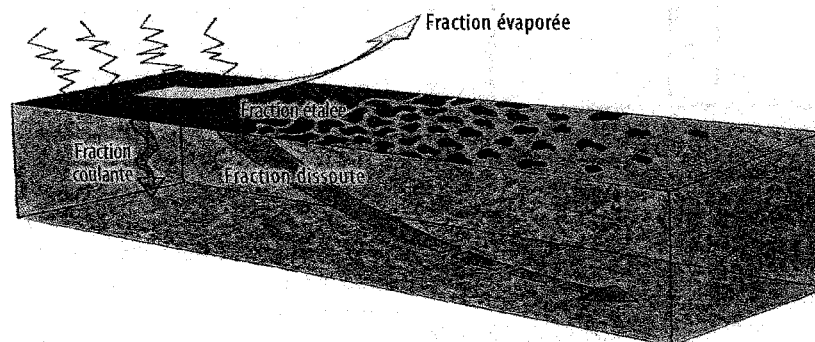
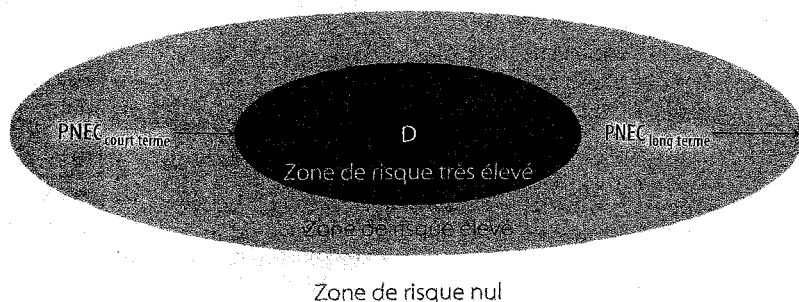


Figure 10 : Schéma représentant les trois zones de risques et leurs limites (D : Déversement).



mailles de 3 km de côté sur 10 niveaux de profondeur et permettent de décrire le régime hydrodynamique et les concentrations en polluant sur la verticale (figure 12). Ces modèles, destinés à reproduire de manière réaliste les effets de la marée et du vent, concernent plutôt les zones situées à plus d'une trentaine de kilomètres des côtes. Lorsque le déversement accidentel se produit près des côtes, des modèles tridimensionnels ayant une résolution spatiale de l'ordre du kilomètre sont utilisés. Ils permettent de résoudre de manière fine les particularités locales liées à la bathymétrie ou à la forme des côtes (figure 12). Ce découpage en neuf zones permet de couvrir le linéaire côtier

Le projet CLARA (fin)

allant du pays Basque à la mer du Nord. Actuellement, plusieurs validations sont engagées afin d'apprécier la robustesse, la qualité des modèles implantés et d'évaluer leurs limites de validité. Ces tests pratiques sur les modèles donnent de bons résultats en termes de surface libre, de courant 2D (comparaisons effectuées avec les modèles et atlas du SHOM) et de température (figure 13). La robustesse du modèle est nécessaire pour s'assurer que celui-ci est capable de simuler le devenir d'un polluant dans toutes les situations

météorologiques, même les plus extrêmes, coïncidant généralement avec les naufrages.

En complément des modèles hydrodynamiques viennent se greffer deux modules spécifiques.

Modélisation des comportements physico-chimiques

Le premier module traite de l'évolution du comportement des produits chimiques dans l'eau de mer en fonction du temps (étalement, dissolution...). Il prend en compte la majorité des comportements à court terme des produits chimiques, sur la base de leurs caractéristiques physico-chimiques. Il est important de noter que ce module d'advection-dispersion est indispensable pour représenter le transport et la diffusion du contaminant en relation avec les propriétés du produit rencontré. En effet, un produit qui a un fort caractère soluble suivra principalement un mode de transport basé sur la diffusion moléculaire et la dispersion turbulente. Alors qu'un produit peu soluble et de densité plus importante que l'eau de mer migrera d'abord vers le fond sous l'effet de la gravité avant de se dissoudre dans la colonne d'eau et suivre un autre type de transport. Dans le cadre du projet CLARA, ces modèles semi-empiriques d'évaluation du comportement des produits sont directement intégrés dans les modules de simulation hydrodynamiques de l'IFREMER¹⁸ et permettent d'appréhender plus finement les niveaux de contamination prévisibles dans le milieu marin. Sur la base du temps d'exposition des zones atteintes, des critères de qualité du milieu sont déterminés, à court terme (mortalité) et à plus long terme (effets sublétaux sur les espèces), permettant de caractériser un risque environnemental dans le temps proportionnel au niveau de contamination observé. En effet, l'évaluation des niveaux de contamination dans la chaîne alimentaire (poissons, crustacés, coquillages) est une

information importante pour le gestionnaire d'une situation de crise amené à prendre des décisions sur l'exclusion et la fermeture de zones de pêche ou de conchyliculture. Là encore, en fonction de la nature des produits chimiques concernés, les niveaux de contamination dans les espèces aquatiques dépendent non seulement des niveaux de contamination dans l'eau et des facteurs de bioaccumulation (BCF), mais également du temps d'exposition. Le projet CLARA proposera donc une information qualitative de la bioaccumulation à travers le BCF, donnée essentielle à la gestion de crise.

Modélisation de la dispersion atmosphérique

Le deuxième module concerne la modélisation de la dispersion atmosphérique. L'objectif principal de cette simulation est une évaluation rapide, simple et fiable des effets potentiels sur l'homme, lors d'une dispersion atmosphérique d'un gaz toxique issu de l'évaporation d'un polluant à la surface de l'eau. L'évaluation des effets sur l'homme se traduit par des courbes d'iso-concentrations relatives à l'IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*). Ce module de simulation s'appuie sur un modèle de type « gaussien » applicable aux émissions prolongées (jusqu'à quelques heures ou quelques jours^{19/20}). Ce type de simulation est particulièrement adapté aux situations de dispersion d'un gaz passif (gaz qui est soumis uniquement au mouvement de l'air), en champ libre comme à la surface de la mer. Les concentrations sont calculées suivant le modèle « émission ponctuelle prolongée à bouffées ». Ce modèle est assimilé à une séquence d'émissions ponctuelles instantanées qui traduisent une succession de bouffées évoluant de façon gaussienne. La concentration est déduite de la sommation de l'ensemble des bouffées. Les modélisations gaussiennes sont particulièrement adaptées à la problématique de gestion de crise, car elles sont simples d'utilisation et rapides d'exécution. Le

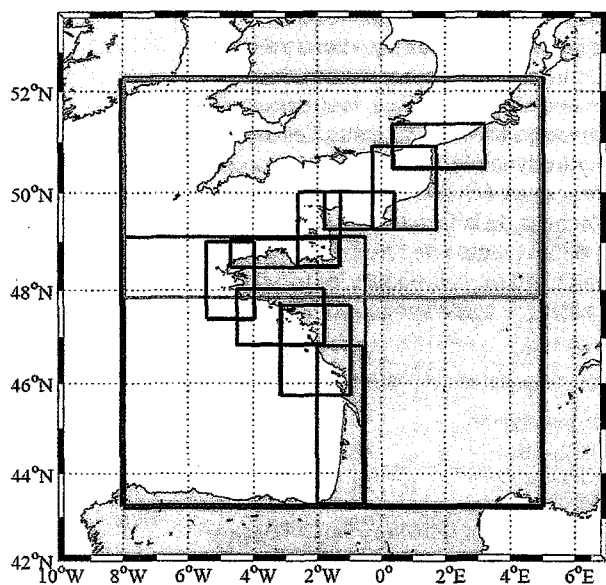


Figure 12 : Emprise des différents modèles utilisés dans CLARA¹⁷.

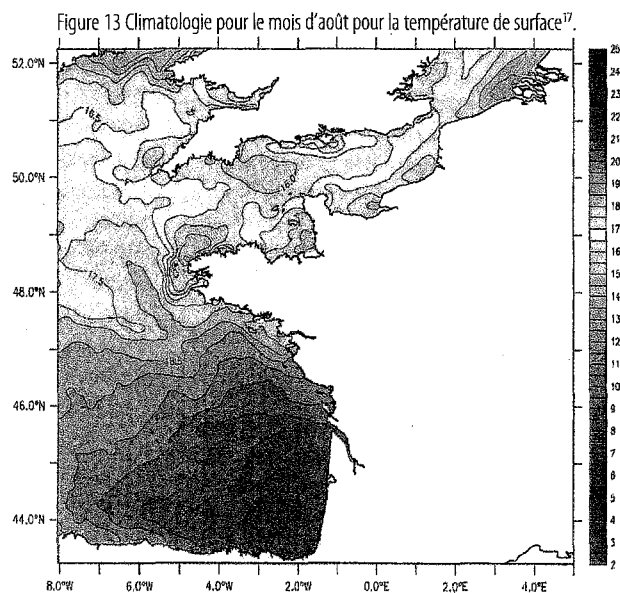


Figure 13 Climatologie pour le mois d'août pour la température de surface¹⁷.

17. Pous S., 2004, *Rapport d'avancement de la modélisation hydrodynamique dans le cadre du projet CLARA*, IFREMER.

18. Lazure P., Dumas F., 2004, « A 3D hydrodynamical model for application at regional scale MARS3D, Application to the bay of Biscay », soumis dans *Ocean Modeling*.

19. Dusserre G., 1997, *Contribution à la gestion des interventions lors d'accidents de transport de matières dangereuses*, thèse de l'Université de Provence I, spécialité Biosciences de l'environnement et santé.

20. Doury A., 1988, « A design basis for the operational modelling of atmospheric dispersion », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1 : 156-162.

type « bouffées » permet, d'une part, de simuler les débits continus comme l'évaporation d'une nappe et, d'autre part, d'intégrer l'évolution des paramètres météorologiques en fonction du temps et au fil de la dispersion. L'objectif final étant d'améliorer les connaissances et de préciser les impacts toxicologiques sur l'homme lors d'une crise.

Analyse des résultats

Le logiciel CLARA devant être un outil d'aide à la décision en situation de crise, une interface permettra de visualiser les résultats des différentes simulations (hydrodynamisme, comportement du produit, dispersion atmosphérique, zones de risque). C'est grâce à cette interface que l'utilisateur va interpréter et analyser le développement futur de la pollution. Les résultats seront présentés à l'utilisateur suivant plusieurs formats : le système d'information géographique (SIG) et des fichiers « texte ».

Le premier mode de représentation des prévisions permet d'afficher une image de synthèse en 2 ou 3 dimensions reconstituant la géographie des côtes et des fonds sous-marins autour du lieu de l'accident. Le SIG peut superposer les résultats du module de simulation sous forme de nuages colorés (dans l'air ou dans l'eau) dont les intensités ou les couleurs sont fonction des concentrations en polluant calculées. L'utilisateur aura la possibilité d'avoir une représentation des données

sous forme de coupes transversales ou longitudinales du milieu pollué.

Le deuxième mode de représentation est basé sur des fichiers textes. Ces fichiers contiennent tous les résultats des calculs sous formes de données brutes (coordonnées, valeurs, temps...) et servent de sauvegarde pour des traitements ultérieurs.

Par ailleurs, de nombreuses fonctionnalités doivent être implémentées dans l'outil afin de faciliter la lecture des résultats et leur interprétation, telles que des grossissements adaptés à l'ampleur du sinistre, des seuils de pollution prédéfinis pour certains produits, des outils de mesure pour faire des relevés précis en surface, dans la colonne d'eau ou dans l'atmosphère et, enfin, des courbes de concentration dans les différents compartiments.

Conclusion

L'objet de ce projet est l'élaboration d'un outil informatique d'aide au diagnostic en situation de crise liée aux rejets accidentels de polluants non-hydrocarbures en mer. Ce logiciel actuellement développé par l'école des mines d'Alès, le CEDRE, l'IFREMER, Météo France et

l'INERIS (cellule ARC) sera capable de simuler conjointement l'évolution de l'hydrodynamisme et les caractéristiques physico-chimiques des polluants et de visualiser le devenir de substances chimiques dans le milieu marin ou dans l'atmosphère après évaporation. La figure 14 représente l'architecture globale du projet CLARA avec les différents modules et leur emboîtement. Concernant les risques environnementaux, ils seront définis en termes d'effets sur le milieu aquatique et de capacité de bioaccumulation dans les organismes. Ce logiciel permettra une approche préliminaire des risques toxicologiques en termes d'effets sur l'homme, sur la faune et la flore. Grâce à ce projet, les décideurs en situation de crise posséderont un nouvel outil de gestion globale des risques liés aux pollutions marines non-hydrocarbure leur permettant de mettre en place rapidement des périmètres de sécurité pertinents, le but étant de protéger les populations, les biens et l'environnement, de mobiliser les moyens de lutte adaptés et d'anticiper la situation à court ou moyen terme. ♦

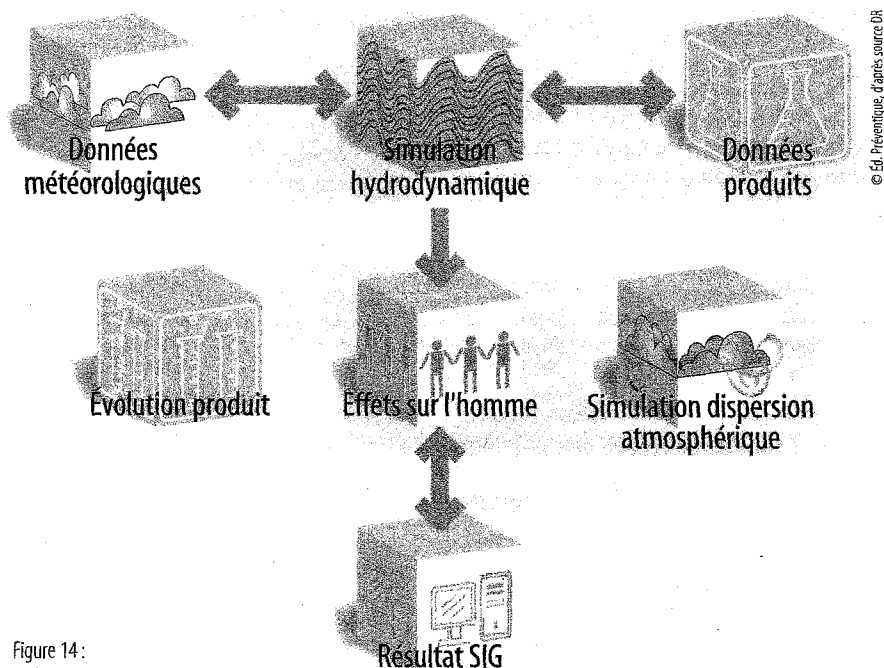


Figure 14 : Architecture informatique du projet CLARA.

Figure 15 : Le 31/01/06, après une collision avec un vraquier dans le rail Casquets, le chimiquier *Ece Majuro* coule dans la Manche, avec sa cargaison d'acide phosphorique (voir rubrique « Argus des accidents technologiques », p.73).

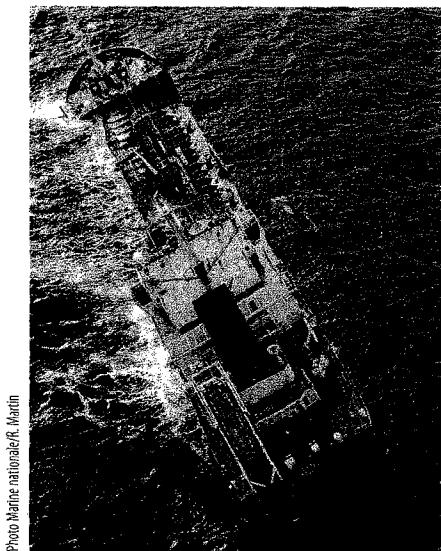


Photo Marine nationale/R. Martin