

TEXTES RÉUNIS PAR

JEAN-PIERRE BEURIER ET YVES-FRANÇOIS POUCHUS

Les conséquences du naufrage de l'*Erika*

*Risques, environnement,
société, réhabilitation*



PRESSES UNIVERSITAIRES DE RENNES

Suivi des nappes en fonction des paramètres météorologiques et océanographiques

Philippe DANDIN, Pierre DANIEL, Patrick JOSSE

Prévoir des dérives

La prévision numérique opérationnelle

Des modèles numériques permettent d'intégrer les lois de comportement d'un corps dérivant ou polluant quelconque, d'en représenter les interactions avec l'atmosphère et l'océan, et de décrire de façon aussi réaliste que possible l'état et les évolutions de ces environnements thermodynamiques complexes. La modélisation numérique a renouvelé la prévision des dérives.

Un système opérationnel de prévision utilise de tels modèles en environnement opérationnel de production. Il résulte d'une recherche perpétuelle d'optimum entre la science disponible, les contraintes d'ingénierie et les objectifs d'emploi. Pour fournir aux autorités des propositions de dérive, il est intégré dans une « boucle de lutte » comprenant les observations, leur analyse, la prévision et la décision opérationnelle. Il est initialisé par les observations. Il doit pouvoir être lancé aussi souvent que nécessaire et son temps de réponse doit être, typiquement, inférieur à l'heure – ceci inclut l'intégration des modèles et l'expertise des prévisionnistes, indispensable.

Tout modèle s'inscrit en effet dans un domaine d'emploi et possède par conséquent des limites. Les ébauches de prévision numérique d'un système opérationnel sont donc complétées par un travail d'expertise, c'est-à-dire de mise en regard des résultats par rapport à la situation, de validation du comportement des modèles, et idéalement par un échange avec les observateurs et autorités chargés de la lutte, pour aboutir à la prévision.

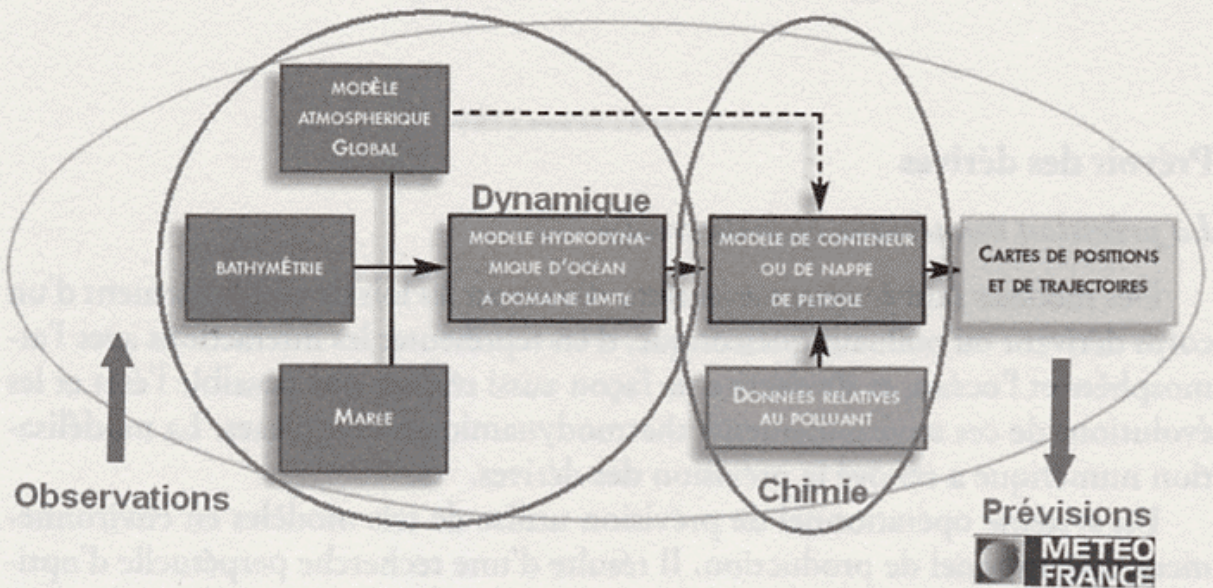
Le système Mothy

Météo-France apporte un support aux opérations d'urgence en cas de pollution marine, aussi bien au niveau national – dans le cadre de l'instruction Polmar – qu'au niveau international – dans celui du Système d'intervention d'urgence en cas de pollution marine (SIUPM) de l'Organisation météorologique mondiale. Cette mission de service public s'inscrit dans le cadre de la sécurité des personnes

et des biens. Une dizaine d'interventions sur des cas réels de pollution ont lieu chaque année.

Le service mis en place par Météo-France comprend une assistance météorologique et des prévisions de dérive de polluant. Le système est également mis en œuvre pour des objets dérivants : conteneurs, navires en perdition...

La prévision de dérive de nappe de polluant est effectuée à l'aide d'un modèle spécifique, Mothy (Modèle océanique de transport d'hydrocarbures), développé dans la division Marine et Océanographie de la direction de la Prévision de Météo-France (Daniel, 1996).



Le modèle Mothy

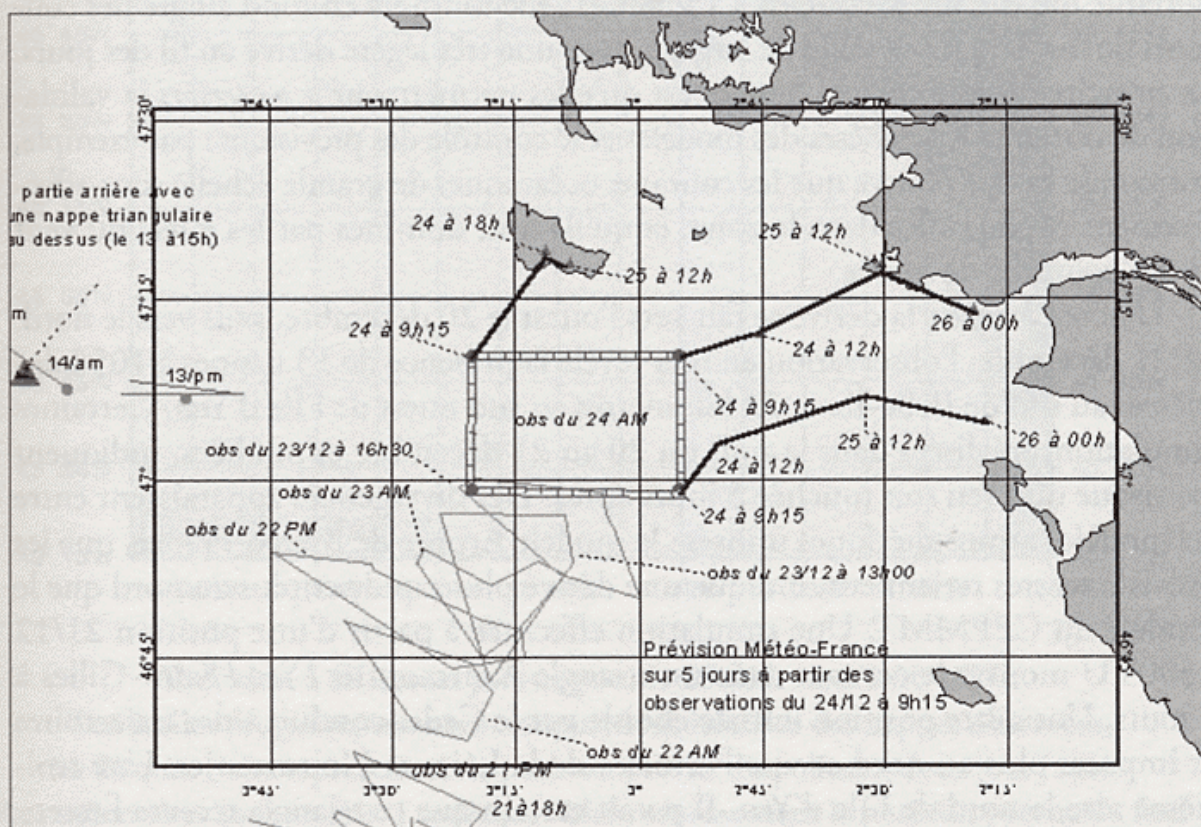
Mothy est un modèle d'océan qui calcule les courants de marée et les courants induits par le vent. Les vents proviennent des modèles météorologiques de prévision. Les courants modélisés sont utilisés pour faire dériver le polluant en prenant en compte les informations disponibles sur le produit. Mothy peut être mis en œuvre 24 heures sur 24 par un prévisionniste marine à partir d'éléments fournis par le Cedre ou différentes autorités. Le prévisionniste expertise les sorties du modèle et complète l'assistance par une prévision météo marine (vent, vagues et houles, température de surface éventuellement).

Le rôle du Cedre et de Météo-France dans Polmar-mer

Le préfet maritime est chargé de la coordination de la lutte contre la pollution, il est responsable de la mise en œuvre du plan Polmar-mer. Le Cedre l'assiste en qualité d'expert *ès* pollution marine. Météo-France assure le soutien météo-océanique et réalise la prévision des dérives. Replaçant avec le PC Crise de la préfecture maritime ces prévisions dans le contexte de la situation observée en mer, le Cedre peut fournir au préfet maritime un conseil prenant en compte les différents aspects du problème (volumes en cause, type de polluant, intensité des

risques, moyens disponibles...) pour permettre la préparation des étapes suivantes de la lutte : planification de l'observation, mise en œuvre de moyens, etc.

Une stratégie de lutte est désormais définie en intégrant au mieux des prévisions de dérive. Celles-ci dépendent étroitement des conditions initiales fournies. En fonction des observations faites en mer (par avions spécialisés dans la télé-détection de pollution, tels les avions Polmar des douanes ou par les avions de la patrouille maritime de la Marine nationale, ou par tout autre moyen disponible, dont les bateaux sur zone), des coordonnées sont choisies par le Cedre et transmises au service de prévision marine de Météo-France qui les utilise comme points de départ des prévisions. La carte suivante montre les points retenus pour lancer des simulations, situés aux coins NW, NE et SE d'un polygone de présence de polluant.



Polygones de répartition des nappes observées par les avions des douanes et de la Marine nationale (vert) et exploitation des prévisions de dérive fournies par Météo-France dans la synthèse du Cedre aux autorités le 24 décembre. (Source Cedre)

Les dérives de l'*Erika*

L'accident de l'*Erika*

Le 12 décembre 1999, le pétrolier maltais *Erika* chargé de 30 000 tonnes de fuel lourd, se casse en deux à 70 kilomètres de la pointe de Penmarc'h. Au moment

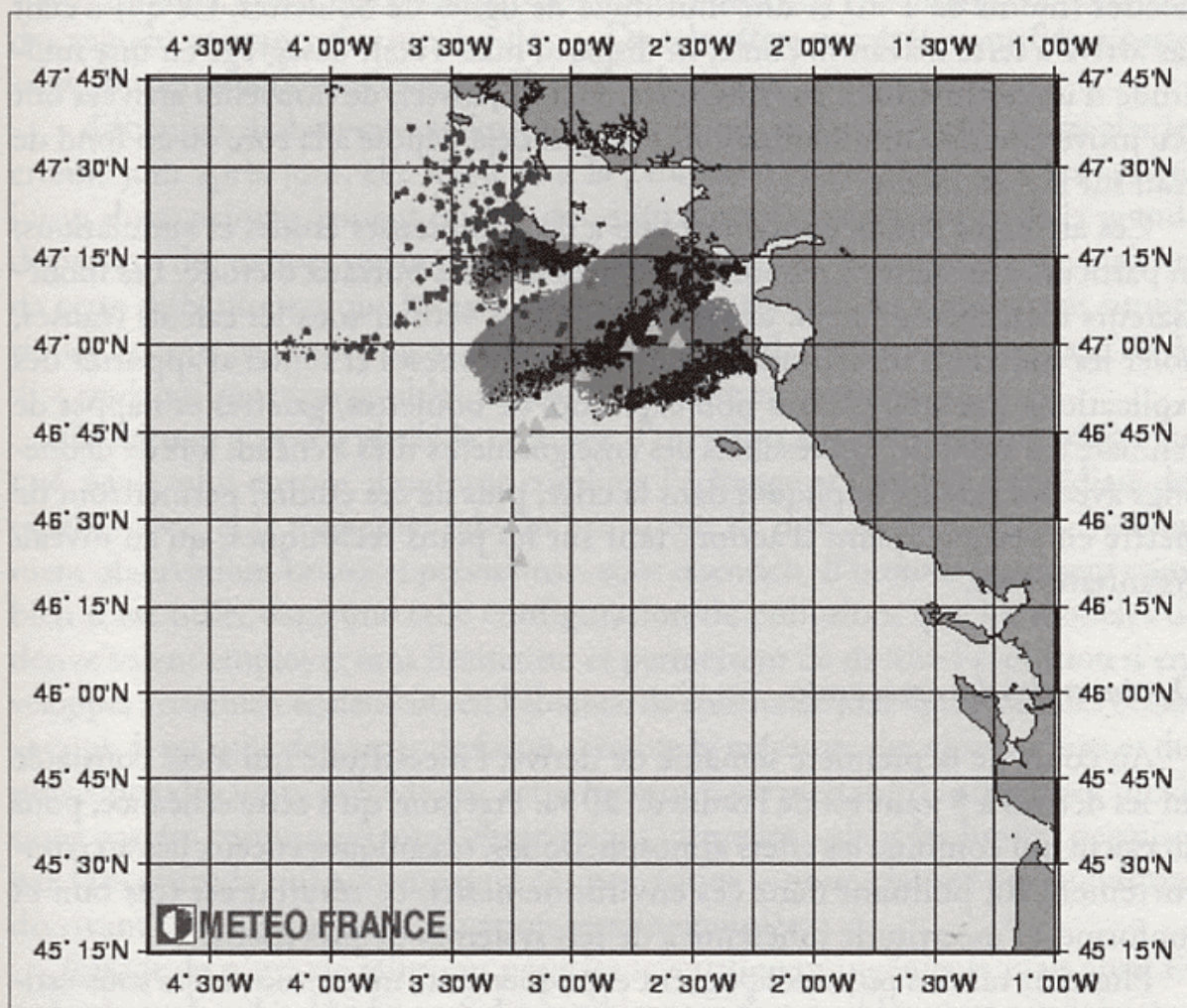
du naufrage, 5 000 à 7 000 tonnes de fuel sont jetées à la mer. La proue coule à proximité par 120 m de fond dans la nuit du 12 au 13 décembre. La poupe est remorquée vers le sud-ouest et finit par couler le 13. Le fuel numéro 2 (bunker C) est un hydrocarbure lourd qui est transporté chauffé. Sa densité est proche de celle de l'eau de mer. Sa viscosité à température ambiante est très grande.

Jour après jour, des nappes épaisses (5 à 8 cm) se divisent en petites nappes d'une centaine de mètres de diamètre. Le 16 décembre, les nappes couvrent une zone de 25 km sur 5 km. À partir du 17 décembre, les nappes commencent à s'enfoncer à quelques centimètres sous la surface. Le 18 décembre, Météo-France met à l'eau deux bouées, au milieu de la zone des nappes, qui transmettent leurs informations en temps réel. L'une est équipée d'un anémomètre et mesure le vent et le courant de surface : elle dérivera avec les nappes et s'échouera sur l'île de Noirmoutier. L'autre n'a aucune prise au vent mais possède au contraire une ancre flottante qui mesure le courant à 15 mètres : elle tournera en rond au gré des courants de marée dans sa zone de largage, avec une très légère dérive au fil des jours. Le principal intérêt de ces bouées est qu'elles permettront *a posteriori* la validation de certaines hypothèses des modèles et le contrôle des prévisions : par exemple, la seconde bouée prouve que les courants océaniques de grande échelle sont effectivement négligeables dans la zone, et qu'ils sont dominés par les effets du vent et des courants de marée.

Une renverse de la dérive se fait vers l'ouest le 20 décembre, puis vers le nord. Le 21 décembre, l'observation en mer révèle la présence de 13 nappes à 105 kilomètres au sud de Belle-Île et 72 kilomètres au sud ouest de l'Île d'Yeu. Certaines simulations, réalisées dans la nuit du 20 au 21 décembre et publiées, indiquent un risque que Yeu soit touchée 5 jours après. Des divergences apparaissent entre les modèles atmosphériques utilisés : le modèle Arpège de Météo-France, que les prévisionnistes retiennent, indique une dérive plus rapide et plus au nord que le modèle du CEPMMT. Une simulation effectuée à partir d'une position 21/12 1600TU montre le contact dans un triangle Noirmoutier / Yeu / Saint-Gilles à 5 jours. Une autre position initiale choisie par le Cedre conduit à des trajectoires et impacts plus au nord et vise l'estuaire de la Loire et Noirmoutier. Une troisième vise le nord de l'Île d'Yeu. Il paraît certain que ce triangle recevra l'essentiel des nappes. Le front des nappes arrive à proximité de Belle-Île (38 km) le 23 décembre ; il s'est très vite déplacé vers le nord. En outre, dès le 23, des pollutions arrivent sur les côtes du Finistère sud, puis d'ouest en est vers Quiberon et Belle-Île.

L'atterrissage des nappes à partir du 25 décembre sur les côtes entre Belle-Île, la partie de côte au nord de l'estuaire de la Loire (Le Croisic...), la baie de Bourgneuf, Noirmoutier, Yeu, Saint-Gilles-Croix-de-Vie, Les Sables-d'Olonne... va se révéler conforme aux prévisions faites. La localisation et la chronologie sont correctes même si les modèles sont en limite d'emploi : très proches de la côte, ne prenant pas en compte les forçages fluviaux, avec des vents extrêmement forts, etc. L'écart le plus important n'est pas là : l'essentiel de la pollution est bien arrivé du 24 au 27 décembre dans la zone indiquée par les prévisions mais les nappes

moins importantes qui ont touché le littoral du Finistère et du Morbihan à l'ouest de Belle-Île n'ont pas été prévues ; ayant échappé aux observations, elles n'avaient par conséquent pas pu être prises en compte dans les prévisions.



Prévision à 48 heures prévue pour le 26 décembre à 00 UTC.

Les étoiles rouges représentent les positions initiales des nappes observées, les disques noirs représentent la position prévue du polluant deux jours après. Les trajectoires sont en gris. Les disques bleus représentent la position prévue du fuel relâché des épaves. Les triangles verts sont les positions de la bouée Marisonde.

Une des caractéristiques majeures de cette deuxième période est en effet que l'observation en mer a été très difficile, ne fournissant qu'une situation quotidienne incertaine et incomplète. Aucun type de donnée satellitale n'a pu être exploité, contrairement à ce qui s'était passé en 1996 dans la marée noire du *Sea Empress*. L'observation a donc reposé sur les avions et les rapports des navires sur zone. La manœuvre était aux limites de capacité : la configuration des nappes, les conditions de mer et de visibilité, et les caractéristiques du polluant ont fait travailler les équipages des avions dans des conditions d'une difficulté telles que certaines nappes ont été perdues, retrouvées, puis reperdues, au fil de leur dérive et de leur désagrégation.

C'est seulement le 30 décembre, quand la houle soulevée par la tempête s'est enfin calmée, qu'il a été possible de faire voler quatre avions simultanément pour un inventaire complet au large des côtes touchées, qui met en évidence une nappe d'une vingtaine de mètres de long, plusieurs centaines de plaques (1 à 5 m) et galettes (moins de 1 m) et une multitude de lignes de boulettes. Ce qui n'était pas arrivé à terre n'avait ni coulé, ni disparu, mais s'était désagrégé en une multitude d'unités invisibles par mer forte. Début janvier, de nouvelles arrivées ont lieu provenant de « re-mobilisations » de fuel déjà déposé à la côte ou au fond de l'eau sur les sédiments.

Ces arrivages tardifs donneront lieu à de nombreuses études et simulations, en particulier de dérive à rebours, effectuées dans les bureaux d'étude. Les modélisateurs s'attacheront aussi, dès janvier 2000, à vérifier tous les calculs réalisés, isoler les sources d'incertitudes, valider les hypothèses et tenter d'apporter des explications aux atterrissages non expliqués de boulettes, galettes et nappes de Penmarc'h à Belle-Île. Les résultats des enseignements tirés à chaud, lors de débriefings avec les acteurs impliqués dans la crise, puis de ces études, permettront de mettre en place les plans d'action, tant sur les plans techniques, qu'au niveau organisationnel.

Des incertitudes crescendo

Au cours de la première semaine de dérive, l'incertitude qui a été constatée sur les dérives à 5 jours est de l'ordre de 20 %. Précisons qu'à cette échéance, pour un calcul qui combine les effets atmosphériques, océaniques et ceux liés au comportement du polluant dans ces environnements, ce résultat est très bon et conforme à l'incertitude inhérente à de tels systèmes de prévisions.

Plusieurs raisons possibles peuvent expliquer cette incertitude : une sous-estimation de la dynamique, tant atmosphérique qu'océanique, peut conduire à sous-estimer la vitesse de dérive ; une mauvaise représentation du polluant et de son comportement dans les milieux ; ou enfin, une mauvaise connaissance des caractéristiques du polluant en situation réelle, et de son évolution, son « vieillissement » (le terme anglais *weathering* traduisant bien l'effet de l'environnement sur le polluant). Si les deux premiers points sont intrinsèques à la modélisation – et diminuent du fait des progrès des sciences associées – le troisième est une donnée : quelle que soit la qualité des modèles numériques employés, une erreur ou une mauvaise caractérisation des données en entrée conduira inévitablement à des erreurs. Les bases de données et le polludrome mis en œuvre par le Cedre ont justement pour objectif de réduire au maximum cette source d'incertitude.

À partir du 18 décembre, et de la renverse des vents pour entrer dans un régime dépressionnaire actif, les incertitudes ont augmenté. Les recalages de jour en jour, par rapport aux observations et aux synthèses disponibles, des prévisions à 24 et 48 heures sont devenus plus importants.

Plusieurs hypothèses d'explications à ce changement, dont l'importance croissante est la suivante :

- évolution du polluant après une semaine à la mer et dans un environnement soudain devenu plus dur : vagues, embruns... L'effet de cette évolution du polluant est difficile à estimer. Les modèles doivent progresser pour mieux la gérer.

- moins bon comportement des modèles dans des plages hautes des paramètres : vent, courants... et apparition de phénomènes non pris en compte : déferlement des vagues, courants dus aux houles... De tels effets ont été quantifiés *a posteriori*. Plusieurs actions d'amélioration de tels aspects sont en cours.

- difficultés d'observation : les observations ne permettent plus de recalculer les erreurs jour après jour, elle n'ont plus la garantie d'exhaustivité qu'elles avaient jusqu'alors, principalement du fait des difficultés d'observation et de la grande dispersion des nappes sur une vaste aire géographique. La conséquence majeure de cette difficulté est que les points retenus pour initier les simulations numériques ne sont par conséquent plus nécessairement les points pertinents, c'est-à-dire ceux qui sont susceptibles de toucher la côte en premier.

Ce dernier aspect a révélé la nécessité d'un effort sur l'observation, déjà évoqué. Mais, plus encore, il indique combien l'échange et l'analyse immédiate des observations, et le croisement des informations de différentes natures – notamment observations brutes et prévisions – sont essentiels. Il montre également combien il est utile, dans une telle configuration de pollution, que les modèles de dérive soient employés sans limitation et permettent de décrire l'évolution d'enveloppes ; combien également, en l'absence de cohérence jour après jour des observations, il est utile de garder de façon certaine la mémoire des observations et des prévisions des jours précédents, cette mémoire permettant d'utiliser des prévisions passées comme autant d'observations virtuelles – dans les limites permises par l'incertitude qui accompagne ces prévisions – pour réaliser des prévisions décrivant l'évolution d'une situation terrain complète.

Autant de pistes de réflexion pour les scientifiques, ingénieurs mais aussi les opérationnels et les décideurs. Si les outils sont indispensables pour pouvoir gérer de telles situations, ce sont également les organisations qui sont sollicitées... Au 12 décembre, lors de la crise de l'*Erika*, les acteurs qui ont été impliqués : douane, Marine nationale, Cedre, Météo-France, préfecture maritime... avaient l'habitude de travailler ensemble, avaient testé leurs systèmes et leurs relations.

Comment progresser ?

Une validation du concept de modélisation

Chaque élément de la crise liée à la pollution de l'*Erika* a été analysé. Si cette catastrophe a été exceptionnelle à plusieurs titres, elle l'a aussi été parce qu'une prévision de dérive a été réalisée : le suivi permanent des nappes mis en œuvre afin d'aider le préfet maritime à décider de la stratégie de lutte optimale a été d'un niveau encore jamais atteint dans le monde de la lutte antipollution. Ainsi, en 1997, la marée noire du pétrolier Nakhodka au Japon, qui a concerné un produit comparable, dérivant au large en hiver et dans des conditions de mer difficiles, n'a pu être suivie que de façon très imprécise par la modélisation.

1 Les prévisions ont été globalement conformes à ce qui a été observé dans la réalité, avec des écarts qui ont en partie été maîtrisés grâce à l'expertise humaine qui accompagnait les simulations numériques. Leur emploi et leur diffusion ont été délicats ; les prévisions et l'articulation entre les acteurs techniques auraient aussi pu être meilleures ; les difficultés ont été plus grandes à proximité des côtes et dans des conditions extrêmes ; etc. Comment progresser ? Les incertitudes de la modélisation sont liées à la physique de l'environnement météo-océanique, qui peut mener à des conditions exceptionnelles, à la représentation du polluant et de son évolution.

Observation, modélisation, analyse

Il faut travailler sur deux axes :

- **technique**, pour affiner sans cesse les prévisions, ce qui suppose un travail en météorologie, en océanographie, en chimie... mais également dans le domaine de l'observation. Plusieurs projets, dont certains étaient en cours en décembre 1999 ou qui ont démarré depuis, s'emploient à préparer les outils du futur, ou tout simplement améliorer le système Mothy actuel. Tous sont menés en collaboration entre les organismes français impliqués dans l'océanographie opérationnelle, et notamment le Shom, l'Ifremer et Météo-France. En particulier, depuis janvier 2000, plusieurs actions scientifiques et techniques lancées dans la communauté nationale, mais aussi dans le cadre de collaboration avec l'étranger, ont permis d'améliorer les systèmes de modélisation en de nombreux points, ou laissent espérer d'importants progrès. La préparation des systèmes de future génération, actuellement en développement dans les laboratoires de recherche, à l'emploi opérationnel en situation de crise, est également engagée.

- **organisationnel**, pour maîtriser l'emploi de ces outils et permettre l'établissement d'une stratégie de lutte à la mer aussi efficace que possible. L'enseignement essentiel de l'*Erika* est sans doute d'avoir montré que les circuits opérationnels étaient à rendre plus rapides et plus performants. C'est ce que la refonte de l'instruction Polmar a traduit, et qu'il incombe désormais aux acteurs de la lutte anti-pollution de mettre en œuvre : cela passera par des outils, méthodes et procédures partagées entre douanes, Marine nationale, Cedre, préfectures maritimes et Météo-France.

Toutes ces actions sont poursuivies avec énergie. Il devra en être de même pour les questions d'organisation – et de support technique – qui seront logiquement abordées dans le sillage de la nouvelle instruction Polmar.

Remerciements

Les ingénieurs et techniciens du Cedre et de la division Marine et Océanographie de la direction de la Prévision de Météo-France ont contribué à la présente réflexion. Qu'ils soient remerciés pour leur investissement et tout le travail qu'ils accomplissent ensemble.

BIBLIOGRAPHIE

DANIEL P., « Operational forecasting of oil spill drift at Météo-France », *Spill Science & Technology Bulletin*, 1996, vol. 3, No. 1/2, p. 53-64.