

1 500 000 cSt à 10 °C) contenu dans l'épave du *Böhlen* coulée à 100 m de profondeur, consistait à réchauffer le pétrole par de l'eau de mer chaude (50 à 80 °C) injectée dans un circuit primaire au moyen de buses fixées sur une canne télescopique et à l'entraîner vers une conduite de remontée au moyen d'eau circulant dans l'hydro-éjecteur d'un circuit secondaire. Le mélange de pétrole et d'eau était séparé à bord du navire à positionnement dynamique assurant l'opération, équipé aussi pour l'occasion d'une chaudière et d'une tourelle de plongée. La récupération du fioul lourd contenu dans l'épave du *Tanio* a été réalisée selon une variante technologique de ce procédé en utilisant en particulier une colonne articulée comme support de remontée du fioul [IFP, 1983].

Le second procédé, retenu par TotalFinaElf et mis en œuvre par un consortium franco-norvégien (Coflexip/Stena Offshore/Stolt Offshore) pour récupérer le fioul lourd (viscosité : 40 000 cSt à 10 °C) contenu dans les deux parties de l'épave de l'*Erika* coulées à 120 m de profondeur [Bocquillon et Guyonnet, 2002]. Il consistait à aspirer le fioul dans une cuve maintenue sous légère dépression, installée sur le fond de la mer près de l'épave, tout en réduisant sa viscosité au moyen d'une injection d'EMC (ester méthylique de colza utilisé en substitut ou complément de gazole). Le fioul dilué était remonté à la surface au moyen d'une pompe à double vis immergée.

Dans le cas du *Prestige*, la profondeur à laquelle se trouvaient les deux parties de l'épave (3 800 m) ne permettait pas la mise en œuvre d'un procédé de pompage assisté. La technique retenue par la société espagnole Repsol, en charge de l'opération, fut élaborée à partir d'une étude préliminaire de la société Géocéan assistée par l'IFP. Elle consistait à recueillir le fioul s'échappant naturellement par une vanne dans des citernes métalliques cylindriques (23 m de hauteur, 5 m de diamètre), l'eau étant chassée à la partie supérieure de la citerne. Les citernes étaient descendues, mises en place au-dessus de la vanne et remontées au moyen d'un système de câbles-guides. À environ 40 m de la surface, le fioul était aspiré par un navire-citerne, le pompage étant facilité par la technique de l'anneau d'eau. Il faut noter qu'à la température de l'eau à – 3 800 m, soit 4 °C, le fioul, dont le point d'écoulement était très voisin de cette température, ne s'échappait que très lentement de l'ouverture.

4.2.4 Le bilan : stratégies de réponse et gestion des pollutions

La probabilité de futurs accidents pétroliers en mer, souvent considérée comme non négligeable malgré les mesures de prévention adoptées, impose à la communauté internationale d'améliorer la gestion des pollutions. Les dernières grandes marées noires survenues dans les eaux européennes (*Prestige* en 2002, *Erika* en 1999) ont généré des débats contradictoires sur les actions qui auraient pu être entreprises pour éviter peut-être une pollution massive, à savoir le remorquage du navire en avarie grave vers un port. Cette option peut en effet être défendue en considérant que même en cas d'échec final la pollution serait plus localisée et son impact globalement réduit bien que localement plus important. Il faut cependant retenir qu'une telle option n'est pas toujours envisageable.

Ce qui précède montre qu'au cours des dernières décennies des progrès technologiques et méthodologiques ont été indéniablement réalisés mais que les dernières grandes marées noires survenues dans les eaux européennes rappelées ci-dessus et auxquelles il faut ajouter

celle du *Sea Empress* en 1996, ont encore entraîné, comme les précédentes, une pollution massive des côtes qu'il a fallu nettoyer en utilisant des techniques relativement élaborées mais aussi en faisant largement appel aux moyens manuels rudimentaires que sont « la pelle et le seau ». Pourtant, dans le cas du *Sea Empress*, la mise en œuvre d'importants moyens de traitement des nappes en mer par dispersants, décidée par les autorités britanniques, a permis de compléter l'opération de récupération pour limiter très notablement la pollution du littoral sans augmenter globalement les dommages écologiques apparents ; dans le cas du *Prestige*, la mobilisation d'un certain nombre de navires européens spécialement équipés, ainsi que de nombreux bateaux de pêche armés de filets divers, a permis de réaliser la plus importante opération de récupération en mer jamais effectuée, le traitement par dispersants ayant été considéré comme inapplicable sur un fioul lourd.

Partant de ce constat, on est conduit à s'interroger sur **la capacité des grandes nations industrielles à faire mieux** pour traiter totalement en mer une pollution de grande ampleur. On peut penser que les résultats relativement positifs qui ont été obtenus en matière de récupération en mer pourraient être encore notablement améliorés à l'avenir en mobilisant un plus grand nombre de navires récupérateurs équipés des systèmes qui ont fait leurs preuves et peut-être en disposant de navires récupérateurs de grande capacité capables d'opérer par mer plus forte, navires encore actuellement à l'étude, d'un coût élevé et dont on ne sait pas aujourd'hui s'ils pourront être financés. On voit qu'on touche là au rôle des décideurs politiques qui, au niveau de l'Union Européenne, ont établi des protocoles de coopération prévoyant la mobilisation de moyens de plusieurs nations en cas de besoin, les Pays-Bas et l'Allemagne étant les principaux détenteurs de navires spécialisés multifonctions, mais qui sont réticents à faire le choix d'investissements importants dont la rentabilité ne se mesure pas en termes économiques classiques. La situation est analogue pour ce qui concerne les moyens de traitement par dispersants qui, on l'a vu, doivent être mobilisés rapidement en nombre suffisant pour que l'opération puisse réussir. La Grande Bretagne a fait le choix de se doter d'un certain nombre de moyens aériens d'épandage de dispersant, alliant secteur privé et secteur public. La position de la France est à ce jour de disposer d'équipements de récupération et de dispersion susceptibles d'être installés rapidement, en cas de besoin, sur des navires ou des aéronefs de la Marine Nationale et de la Sécurité Civile, voire des navires du secteur privé pour les filets de récupération par exemple.

Sachant que l'intervention en mer reste dépendante des conditions océano-météorologiques, certains experts considèrent que son efficacité sera toujours limitée, quelle qu'en soit la cause, et préconisent en conséquence de « ne rien faire et laisser venir la pollution à la côte » et de consacrer tous les moyens techniques, humains et financiers à la lutte sur le littoral. Cette position, dont une variante consiste à mener des actions minimales visant l'opinion publique, est cependant combattue par de nombreux experts qui considèrent qu'elle est souvent contestable sur le plan économique, en raison de tous les coûts induits par une pollution massive du littoral et de la difficulté de chiffrer les dommages écologiques, et qu'elle est en outre difficilement justifiable sur les plans sociologique et écologique.

Plus généralement, au-delà de la lutte en mer proprement dite jusqu'à la gestion de la pollution du littoral, les débats conflictuels portant sur les divers aspects de l'alternative « **nettoyer ou laisser faire la nature** » opposent les environnementalistes, soucieux de minimiser l'impact écologique, les experts représentant les assurances et le fonds d'indem-

nisation (FIPOL), soucieux de minimiser les coûts, et les autorités locales représentant les victimes de la pollution, soucieuses, en particulier dans les régions touristiques, de faire disparaître toute trace visible ou décelable de polluants (analyse présentée par le CEDRE sur son site Internet en décembre 2002 après le naufrage du *Prestige* : « Réponse aux épandages accidentels de produits dans tous les milieux, évolution des techniques et moyens de lutte antipollution »).

L'utilisation du concept **d'analyse du bénéfice environnemental net** a été préconisée par l'Organisation Maritime Internationale et est maintenant souvent proposée pour réconcilier les avis divergents et aider objectivement à décider, dans des situations diverses, s'il faut intervenir et nettoyer ou non et jusqu' où il faut nettoyer le cas échéant. Cette analyse vise à évaluer les avantages et les désavantages des différentes techniques d'intervention en comparant leur impact global avec celui de la pollution abandonnée aux seuls processus de réhabilitation naturelle. Pour être plus qu'un simple outil qualitatif utilisé de façon plus ou moins empirique, elle implique la capacité de prévoir l'évolution de la pollution (état physique et distribution dans les différents compartiments du milieu) selon les divers scénarios envisagés et son impact à court et long terme sur ces compartiments. On a vu que les modèles de prévision de l'évolution d'une pollution sont encore loin d'être suffisamment fiables pour anticiper, dans des situations non exceptionnelles, le devenir de cette pollution à moyen terme sans être recalés régulièrement sur des données actualisées. Cette seule considération rend déjà difficile une réelle quantification du bénéfice environnemental net autrement qu'avec une incertitude qui peut elle-même être difficile à évaluer. L'incertitude sur la prévision de l'impact sur les différents compartiments en est amplifiée. Lunel et Baker [Lunel et Baker, 1999] se sont largement appuyés sur l'exemple du *Sea Empress* pour qualifier le bénéfice environnemental net tiré de l'utilisation massive des dispersants en évaluant la quantité d'huile dispersée qui n'a donc pas atteint le rivage et ont proposé d'intégrer, dans la démarche de quantification, un index de sensibilité environnementale basé sur dix niveaux et plusieurs critères écologiques et socio-économiques. Il faut cependant constater que cette approche est encore largement qualitative et que l'expérience du *Sea Empress* n'est peut-être pas directement transposable à des déversements de pétroles plus difficiles à traiter, moins continus et plus éloignés des côtes. Elle met heureusement en lumière la nécessité de préciser, dans les plans d'urgence (le plan POLMAR en France) la sensibilité environnementale et économique des sites susceptibles d'être pollués.

La composante économique est naturellement introduite dans le débat par les assureurs et le fonds d'indemnisation et aussi parfois par l'Etat concerné par la pollution qui peut être soucieux de limiter les dépenses qui dépasseront le plafond d'indemnisation et qui resteront à sa charge si aucune autre partie (le propriétaire de la cargaison dans certains cas) n'intervient. Elle est intégrée dans le concept de **bénéfice économique et environnemental net** qui consiste à mettre en balance les coûts d'intervention avec les dommages chiffrables en s'appuyant sur l'expérience acquise. La limite de cette approche, qui a fait l'objet de travaux visant à développer des outils d'analyse [Koops et Huisman, 2002], réside dans la difficulté de chiffrer les dommages de toutes natures décrits dans le chapitre 3 et en particulier les effets non directement marchands, comme ceux liés à certaines activités touristiques et ceux liés aux dommages purement écologiques qui ne sont d'ailleurs pas retenus par le FIPOL pour l'évaluation des indemnisations. L'analyse des processus d'évaluation et d'indemnis-

tion des dommages, réalisée dans le cas de quelques accidents majeurs dans les eaux européennes [Thébaud, 2002] montre la variabilité du coût total des dommages estimés pour une même marée noire et de l'une à l'autre, les écarts entre ces coûts et les demandes d'indemnisation et les indemnisations payées, en pointant les difficultés inhérentes aux méthodologies d'évaluation économique appliquées à ce domaine. Il serait intéressant de décomposer les coûts totaux en coûts d'intervention en mer, coûts de nettoyage du littoral et coûts relatifs aux divers dommages. Il est significatif de noter que le coût total des dommages dans le cas de l'*Erika* (environ 915 millions d'euros pour 20 000 tonnes de fioul lourd et 400 km de côtes touchés) est équivalent à celui de l'*Amoco Cadiz* (environ 760 millions d'euros pour 220 000 tonnes de pétrole moyen et 350 km de côtes touchés) et très supérieur à celui du *Sea Empress* (environ 150 millions d'euros pour 72 000 tonnes de pétrole léger et 150 km de côtes touchés). Une autre étude [Etkin, 2000] a recensé, sur la base de 300 accidents dans 40 pays, les coûts moyens d'intervention et de nettoyage et a établi des corrélations entre ces coûts et la nature du polluant, son volume, la localisation de l'accident, la longueur de côtes polluée, les techniques utilisées et les facteurs locaux comme le coût de la main-d'œuvre et les standards de qualité des milieux. Ce dernier facteur est une variable particulièrement importante car le degré de dépollution visé, réponse à la question « jusqu' où intervenir », peut influencer notablement sur le coût d'intervention. Il dépend de considérations écologiques spécifiques à chaque milieu, de critères de qualité des eaux et aussi de la perception de la qualité environnementale que peut avoir le public concerné.

Les choix stratégiques doivent être faits rapidement après un déversement accidentel, surtout si l'utilisation des dispersants est envisageable. On a vu en effet que pour être efficace, toutes autres conditions étant réunies par ailleurs, le traitement par dispersants doit être effectué dans une « fenêtre de temps » qui dépasse rarement deux ou trois jours, sauf dans le cas d'un déversement continu comme celui du *Sea Empress*. Il est donc important que soient connues les données environnementales qui permettent de décider rapidement. L'établissement de limites géographiques préétablies tenant compte de sites sensibles, comme en France, constitue une base qui facilite ce qui équivaut à une analyse du bénéfice environnemental net.

Généralement, le choix entre la récupération et la dispersion ne se pose pas en termes exclusifs puisque la probabilité de traiter une pollution majeure par une seule technique est limitée. Lorsque la dispersion est acceptable et possible, un choix rationnel peut consister à mettre en œuvre les deux techniques de façon complémentaire, en en privilégiant une le cas échéant en fonction des moyens mobilisables opérationnellement. La disponibilité des moyens et leur délai d'intervention sur la zone polluée peuvent constituer des facteurs importants dans le processus de décision.

Dans le cas d'une pollution de faible ampleur qu'on prévoit atteindre la côte sans menacer de site sensible ni créer de dommages importants, la décision de ne pas intervenir peut se justifier économiquement si les coûts de nettoyage à terre sont considérés comme inférieurs. C'est par exemple le cas des rejets frauduleux de navires (déballastages, rejets de cales). Dans le cas des pollutions résultant de déversements accidentels plus conséquents, les incertitudes relatives aux dommages environnementaux potentiels qui peuvent résulter d'une pollution massive du littoral incitent à entreprendre toutes actions possibles en mer en restant dans une enveloppe de dépenses raisonnables mais sans nécessairement chercher à faire

a priori un bilan économique qui, en tout état de cause, ne peut être qu'approximatif. La prise en compte de la sensibilité des populations susceptibles d'être polluées, qui n'est certes pas un critère absolu mais qui ne peut pas non plus être négligée, conforte cette position. On remarquera que l'option consistant à brûler volontairement le pétrole, qui peut trouver sa justification au large en particulier, est rarement appliquée près des côtes.

En fin de compte, on peut retenir que l'analyse du bénéfice environnemental net formalise une démarche rationnelle mais pas forcément consensuelle qui, pour conduire à des choix stratégiques en situation d'urgence, doit s'appuyer sur des données locales et des informations analogiques normalement rassemblées dans un plan d'urgence mais qui doit aussi prendre en compte un certain nombre de paramètres opérationnels et sociopolitiques.

Les choix tactiques, qui concernent plutôt les actions menées près des côtes, relèvent aussi d'une démarche analogue consistant en particulier à déterminer les sites à protéger en priorité, par exemple par la concentration de moyens navals de récupération en zone côtière ou par la mise en œuvre de dispersants, pour autant qu'elle soit encore efficace, considérée alors comme le choix de la moins mauvaise solution, ou encore par l'option « ne rien faire », comme l'illustrent les deux exemples types décrits par le CEDRE [Merlin, 1997]. On peut citer aussi l'option qui consiste à protéger un site en installant des barrages déviant le polluant vers une zone côtière « sacrifiée » où il sera collecté.

Le nettoyage des côtes implique, on l'a vu, des méthodes et des techniques diverses dont la mise en œuvre nécessite un savoir-faire et des précautions, résultant de toutes les expériences acquises au fil des marées noires, l'objectif étant de nettoyer sans créer de dommages plus importants. On sait par exemple que dans le cas de marais pollués il est préférable d'enlever manuellement ce qui peut l'être en perturbant le moins possible le milieu pour laisser faire la réhabilitation naturelle. Cette option est considérée par un certain nombre d'experts environnementalistes comme pouvant s'appliquer à de nombreuses situations et à divers sites.

Cependant, l'analyse du bénéfice environnemental net peut aussi conduire à la décision de nettoyer plus intensément un site qui, du fait de son exposition, pourrait servir de « réservoir » entraînant à terme la contamination d'autres ressources par remobilisation de polluant en masse ; l'utilisation de dispersants est considérée dans ce cas comme acceptable par certains experts, en particulier britanniques [Lunel et Lewis, 1999]. Par ailleurs, rappelons-le, des considérations socio-économiques et politiques peuvent conduire à une décision identique sans qu'elle soit justifiée écologiquement. La question récurrente « **jusqu' où faut-il dépolluer** » n'a pas, on le voit bien, de réponse satisfaisante pour toutes les parties en cause. Ce qui est raisonnable et qui constitue donc une limite d'intervention en termes de coûts pour certains et en termes de conséquences écologiques du nettoyage pour d'autres est souvent considéré comme insuffisant par d'autres encore en termes socio-économiques.

La question de la **récupération des hydrocarbures restant dans une épave coulée** dépasse elle aussi la seule analyse économique car l'opinion publique ne tolère plus qu'une menace de nouvelle pollution différée ne soit pas éliminée, quel qu'en soit le coût. Est alors en cause toute la stratégie de gestion d'un navire gravement endommagé si les ports les plus proches du lieu d'un accident n'acceptent pas, comme ce fut le cas pour l'*Erika* et le *Prestige*, de recevoir ce navire tant qu'il peut être encore remorqué.

En conclusion, on peut retenir que les progrès technologiques et méthodologiques réalisés par la communauté internationale ne permettent aujourd'hui que d'atténuer les conséquences des pollutions accidentelles de grande ampleur. Leur gestion repose largement sur une bonne préparation à la lutte, dans toutes ses composantes, intégrant les plans d'urgence et les accords de coopération internationaux, l'entretien des savoir-faire au travers des opérateurs publics et des sociétés privées de dépollution, l'exploitation, par les experts concernés, des nombreuses données issues des cas réels et des expérimentations et qui sont susceptibles d'améliorer la rationalité des choix stratégiques qui doivent être faits à différents niveaux.

4.3 LA RÉHABILITATION DES SOLS ET DES AQUIFÈRES POLLUÉS

4.3.1 La décision de réhabilitation et les objectifs du traitement

Différentes situations de pollution de sols et d'aquifères peuvent être rencontrées, chacune représentant un contexte événementiel spécifique :

- situation n° 1 : constat de déversement accidentel de produit pétrolier résultant par exemple d'un accident de transport ferroviaire ou routier, de l'incendie/explosion d'un bac de stockage ou d'une unité de production, de la rupture d'un oléoduc ou d'une erreur humaine de dépotage de camion-citerne dans une station-service ;
- situation n° 2 : constat d'odeurs d'hydrocarbures ou d'hydrogène sulfuré (provenant de la biodégradation anaérobie d'hydrocarbures) s'infiltrant dans le sous-sol d'un bâtiment ;
- situation n° 3 : constat de contamination d'un captage d'eau potable ou d'eau destinée à l'irrigation (odeur ou présence de phase huileuse) ;
- situation n° 4 : constat de contamination d'une nappe phréatique par des mesures régulières dans des piézomètres de surveillance ;
- situation n° 5 : constat de pollution lors d'un chantier de génie civil ;
- situation n° 6 : diagnostic de site potentiellement pollué effectué dans un cadre réglementaire, ayant abouti à un constat de pollution du sous-sol et éventuellement de la nappe.

Ces différents cas correspondent soit à des pollutions factuelles, soit à des pollutions passées, récentes ou anciennes, dont l'origine peut être identifiée ou non.

La première situation entraîne généralement l'obligation d'une intervention rapide et parfois d'engager une opération de dépollution, sauf si le volume d'hydrocarbures infiltrés dans le sol est suffisamment faible pour qu'aucun impact ne soit prévisible, ce qui est rarement le cas. Les situations n° 2 et n° 3, qui correspondent à un impact induisant des nuisances à une ressource exploitée ou à un bâtiment, imposent également un traitement, sauf si, dans le cas n° 3, le captage peut être abandonné ou suspendu pendant toute la durée d'une éventuelle réhabilitation naturelle, ce qui est rarement acceptable. La situation n° 4 ne nécessite pas forcément une intervention si le panache de contamination dans la nappe est stabi-