



## Introduction

La plupart des opérations de nettoyage menées suite à un déversement d'hydrocarbure, notamment sur les littoraux, aboutissent à la récupération de grandes quantités de polluant et de déchets pollués. Le stockage et l'élimination des déchets sont des aspects importants de la lutte antipollution, nécessitant une gestion clairement définie dans un plan d'intervention d'urgence. Il est essentiel que les dispositions prises dès le début d'un accident tiennent compte du devenir des déchets ; cela permet d'empêcher de telles préoccupations de nuire à l'effort de dépollution et de se transformer en problème coûteux, perdurant longtemps après l'achèvement de l'opération de nettoyage.

Ce document traite des diverses possibilités de gestion des déchets générés suite à des déversements d'hydrocarbures causés par des navires dans l'environnement marin.

## Le problème des déchets

L'expérience a montré que l'élément le plus chronophage et le plus coûteux des opérations de lutte antipollution est souvent le traitement ou l'élimination des déchets collectés. La quantité de déchets générée dépend de nombreux facteurs, tels que le type et la quantité d'hydrocarbure déversé, l'étalement de la nappe et ses effets sur le littoral et, surtout, les méthodes employées pour récupérer l'hydrocarbure déversé et les produits pollués de la surface de la mer et du littoral.

Lors des déversements d'hydrocarbures même de relativement faible ampleur, la quantité de déchets récupérés peut rapidement dépasser les capacités des installations d'élimination. Pour veiller à résoudre ce problème sans difficultés, les méthodes de traitement des déchets doivent faire partie des éléments cruciaux du plan d'intervention d'urgence. Les décisions concernant les techniques de lutte antipollution doivent tenir compte de la quantité de déchets susceptible d'être générée et préférer, dans la mesure du possible, celles qui minimisent le volume de déchets récupérés. En outre, et notamment dans le cas des opérations de nettoyage des littoraux, une supervision étroite de la main-d'œuvre est essentielle. Néanmoins, même en utilisant des méthodes de lutte antipollution appropriées et raisonnables, le volume de déchets généré peut parfois être jusqu'à dix fois supérieur au volume original d'hydrocarbures déversés.

Une fois les déchets récupérés, l'effort et les moyens financiers requis pour leur prise en charge dépendent des options de stockage, de transport, de traitement et d'élimination disponibles, ainsi que des règlements locaux. Les décisions concernant le traitement des déchets doivent être prises au début d'un accident et reposer sur une estimation réaliste de la quantité et du type de déchets susceptibles d'être générés. Une organisation efficace de chaque élément du processus de prise en charge des déchets est essentielle pour éviter un problème conséquent et coûteux. Au fur et à mesure que les préoccupations environnementales gagnent en importance dans l'esprit des populations et que les règlements en matière d'élimination des déchets deviennent de plus en plus stricts, il est probable que de nouvelles méthodes d'utilisation, de recyclage ou d'élimination des déchets devront être trouvées.

## Options de gestion des déchets

La « Hiérarchie des déchets » est un cadre international établi pour la classification et l'établissement de l'ordre de priorité des options de gestion des déchets, applicable à toutes les formes de déchets, y compris ceux résultant des déversements d'hydrocarbures. La



▲ Figure 1 : Nettoyage de sable pollué in situ par lavage basse pression, avec barrage absorbant déployé de manière appropriée pour capturer les hydrocarbures libérés.

hiérarchie se décline en cinq étapes distinctes, par ordre d'intérêt :

1. **Réduction** de la quantité de déchets pollués générée, par exemple au moyen de techniques sélectives de nettoyage des littoraux qui minimisent la récupération de substrat propre et/ou d'eau ou par le traitement *in situ* du substrat pollué (Figure 1). Un contrôle rigoureux de l'emploi de consommables, notamment d'absorbants, permet également de réduire les déchets. Les Guides d'Informations Techniques de l'ITOPF consacrés au nettoyage des littoraux et aux absorbants décrivent plus en détail les pratiques appropriées.
2. **Réutilisation** des ressources employées pendant le nettoyage, par exemple en nettoyant et en réutilisant les appareils et les équipements de protection individuelle souillés dans la mesure du possible (Figure 2).
3. **Recyclage** des hydrocarbures liquides par incorporation dans les flux de raffineries ou stabilisation des hydrocarbures et des produits pollués pour les utiliser dans des projets de poldérisation ou de construction routière.
4. **Valorisation** énergétique des déchets en tant que combustible pour la production d'électricité ou le chauffage.
5. **Élimination** des déchets qui ne peuvent pas être pris en charge par l'une des options ci-dessus, par incinération, enfouissement ou compostage.

En réalité, les décisions concernant la gestion des déchets sont



▲ Figure 2 : La minimisation des déchets est un aspect essentiel de la lutte antipollution. Dans la mesure du possible, les équipements de protection individuelle (EPI), y compris les vêtements, doivent être nettoyés et réutilisés.

motivées par le coût et la capacité des options disponibles conformes aux règlements en la matière dans la région où l'accident s'est produit. Lorsque plusieurs options sont techniquement possibles (Tableau 1), le rapport coût-efficacité est susceptible d'être un

facteur important dans le choix de la filière d'élimination. Les déversements d'hydrocarbures sont toutefois, de par leur nature, des urgences qui exigent une intervention rapide. Ainsi, à moins que la gestion des déchets n'ait été dûment prise en considération au stade de la planification des interventions d'urgence, les options d'élimination les plus pratiques et les moins coûteuses risquent de l'emporter sur les options de gestion des déchets plus durables.

## Nature des hydrocarbures et des produits pollués

En règle générale, les déversements d'hydrocarbures persistants, tels que les pétroles bruts, les fiouls lourds et certaines huiles lubrifiantes, sont susceptibles de générer des quantités considérables de déchets. Une fois les hydrocarbures déversés, le processus de vieillissement commence, entraînant une hausse de la teneur en eau et de la viscosité. Les hydrocarbures récupérés rapidement sont plus susceptibles d'être fluides et relativement peu émulsionnés. Avec le temps, ils peuvent se mélanger à des débris issus de la dislocation du navire, de la cargaison perdue (Figure 3) ou en provenance du littoral (Figure 4).

Même si l'hydrocarbure n'est pas mélangé à des macro-déchets, la récupération en mer peut entraîner la collecte de quantités

	Type de produit	Méthodes de séparation	Options de traitement
Liquides	Hydrocarbures non émulsionnés et eaux usées	<ul style="list-style-type: none"> <li>Séparation de l'eau libre par décantation/ gravité</li> <li>L'eau récupérée peut nécessiter un traitement/filtrage complémentaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation des hydrocarbures récupérés comme combustible ou stock d'alimentation de raffineries</li> <li>Retour à la source de l'eau traitée</li> </ul>
	Hydrocarbures émulsionnés	Émulsion brisée pour libérer l'eau par : <ul style="list-style-type: none"> <li>Traitement thermique</li> <li>Application de désémulsifiant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation des hydrocarbures récupérés comme combustible ou stock d'alimentation de raffineries</li> <li>Stabilisation et réutilisation</li> <li>Incinération</li> </ul>
Solides	Hydrocarbures mélangés au sable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récupération des hydrocarbures liquides qui suintent à travers le sable pendant le stockage temporaire</li> <li>Extraction des hydrocarbures du sable par lavage à l'eau ou au solvant</li> <li>Collecte des hydrocarbures solides ou des boulettes par criblage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation des hydrocarbures liquides récupérés comme combustible ou stock d'alimentation de raffineries</li> <li>Retour à la source de l'eau traitée</li> <li>Stabilisation et réutilisation</li> <li>Dégradation par épandage ou compostage</li> <li>Enfouissement</li> <li>Incinération</li> </ul>
	Hydrocarbures mélangés aux galets et graviers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récupération des hydrocarbures qui suintent à travers le substrat de plage pendant le stockage temporaire</li> <li>Extraction des hydrocarbures du substrat de plage par lavage à l'eau ou au solvant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retour à la source des pierres nettoyées</li> <li>Stabilisation et réutilisation</li> <li>Enfouissement</li> </ul>
	Hydrocarbures mélangés à du bois, du plastique, des algues, des coquillages, et des absorbants Matériel et stock de pêche pollués : filets, flotteurs et casiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récupération des hydrocarbures liquides qui suintent pendant le stockage temporaire</li> <li>Lavage par jets d'eau basse pression des débris</li> <li>Collecte de l'eau libre</li> <li>Compression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stabilisation et réutilisation suite à la collecte des plastiques et des débris de grande taille</li> <li>Dégradation par épandage agricole ou compostage pour les hydrocarbures mélangés à des algues, des coquillages ou des absorbants naturels</li> <li>Enfouissement</li> <li>Incinération</li> </ul>
	Boulettes d'hydrocarbure	<ul style="list-style-type: none"> <li>Séparation du sable par criblage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stabilisation et réutilisation</li> <li>Enfouissement</li> <li>Incinération</li> </ul>

▲ Tableau 1 : Synthèse des principales options généralement disponibles pour la séparation et l'élimination des hydrocarbures et des macro-déchets.

importantes d'eau due aux méthodes de récupération employées, ou à la formation d'une émulsion eau dans l'huile (Figure 5). Les hydrocarbures dont le point d'écoulement est supérieur à la température de la mer peuvent rapidement passer à l'état semi-solide (Figure 6). Ils doivent alors être récupérés au moyen d'outils manuels ou de grappins qui ont eux aussi tendance à récupérer des quantités importantes d'eau. Les déversements d'hydrocarbures non persistants, qui tendent à s'évaporer et à se disperser naturellement en peu de temps, sont moins souvent associés aux problèmes de production de déchets.

Les hydrocarbures récupérés sur le littoral sont généralement mélangés avec d'importantes quantités de sable, de galets, de bois, de matière plastique et d'algues. Chacun de ces éléments peut nécessiter une méthode de traitement ou d'élimination différente, et le tri peut être difficile. Par exemple, le bois pollué peut être brûlé dans des conditions contrôlées, éventuellement *in situ*, tandis que l'incinération d'algues polluées est impraticable. Les matériaux pollués provenant des opérations de lutte antipollution, tels que les absorbants (Figure 7), l'équipement de protection individuelle (EPI), les barrages de confinement endommagés, les sacs de stockage (Figure 8) et autres types de réceptacles pour déchets peuvent eux aussi ajouter considérablement au volume de déchets produit à la suite d'un déversement d'hydrocarbures. Tel est notamment le cas lorsque des effectifs importants de travailleurs ou de bénévoles inexpérimentés sont employés. Des quantités considérables de déchets peuvent également être générées si du matériel de pêche et des installations de mariculture

sont contaminés et ne peuvent pas être nettoyés de manière satisfaisante, ou si le stock est condamné. Ces questions sont traitées plus en détail dans le Guide d'Informations Techniques de l'ITOPF : Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les pêches et la mariculture.

## Transport, stockage et préparation pour l'élimination

Les volumes importants de déchets nécessitant d'être éliminés à la suite des opérations de nettoyage peuvent souvent poser des problèmes logistiques de taille au stade de la manutention et du transport. Afin de permettre aux opérations de nettoyage de continuer sans entraves, il est généralement nécessaire de prévoir un stockage temporaire des déchets. Une zone tampon est ainsi mise en place entre la collecte et le traitement final et/ou l'élimination. Cette méthode donne par ailleurs aux autorités le temps de sélectionner l'option de prise en charge des déchets la plus appropriée si elle n'a pas déjà été établie. Dans le cas des déchets résultant du nettoyage du littoral, le stockage en arrière-plage, au-dessus de la laisse de haute mer (Figure 8) permet d'effectuer le transport en deux étapes : du dispositif de stockage primaire sur la plage vers le dispositif de stockage secondaire et enfin vers le site de traitement final et/ou d'élimination selon les cas. Cette approche permet de réduire le risque de contamination des routes en limitant le nombre de véhicules intervenant dans la première étape du transfert de la plage.



▲ Figure 3 : Déchets de matière plastique provenant de conteneurs perdus en mer, mélangés avec des hydrocarbures et échoués dans les mangroves.



▲ Figure 4 : Hydrocarbure mélangé avec du plastique, des ordures ménagères, du bois, de la végétation et autres déchets.



▲ Figure 5 : Hydrocarbure émulsionné échoué sur le sable. La récupération manuelle sélective permet de minimiser la quantité de substrat propre collecté.



▲ Figure 6 : Hydrocarbure semi-solide confiné dans l'enceinte d'un barrage. Les difficultés de pompage de l'hydrocarbure peuvent limiter les filières d'élimination possibles.

Les déchets pollués doivent être transportés, stockés, puis éliminés conformément aux règlements locaux. Dans certains pays, des permis sont parfois requis pour l'implantation de sites provisoires de traitement, ainsi que pour les entrepreneurs chargés des diverses phases du traitement. Une concertation avec les autorités concernées, dès le début de l'accident, facilitera cet élément administratif important du processus d'élimination.

Dans la mesure du possible, et à condition que plus d'une voie d'élimination soit disponible, les différents flux de déchets doivent être séparés au point de collecte et stockés séparément. La perte de contrôle et de discipline à tout stade du processus d'élimination peut entraîner des complications ultérieures et des frais supplémentaires inutiles (Figure 9). Par exemple, les hydrocarbures en vrac, les débris pollués et les substrats non pollués doivent être stockés dans des zones séparées afin que différentes méthodes de traitement et d'élimination puissent être suivies pour chaque catégorie. À condition de pouvoir être pompés à température ambiante, les hydrocarbures en vrac peuvent être stockés dans des réservoirs fermés. Il convient toutefois d'accorder une attention particulière au stockage de produits plus visqueux, notamment si les réservoirs ne sont pas équipés d'éléments chauffants, car leur vidange risque d'être difficile sans chauffe préalable. D'importants volumes d'hydrocarbures récupérés peuvent être stockés dans des navires-citernes, mais ceux-ci ne sont pas toujours disponibles et représentent une option coûteuse.

Les hydrocarbures très visqueux doivent être stockés dans des

réservoirs ouverts, tels que des barges, des bennes ou des fûts, pour faciliter les opérations de traitement et de transfert. Si les déchets d'hydrocarbures doivent être stockés longtemps, un confinement couvert est essentiel pour empêcher la pénétration d'eau de pluie (Figure 10). Les hydrocarbures risquent autrement de flotter et de déborder. À défaut de récipients spéciaux, les hydrocarbures en vrac récupérés sur les littoraux peuvent être stockés à l'intérieur de zones de confinement en terre compactée ou dans de simples fosses de stockage garnies de polyéthylène épais (ou autre matériau adapté et étanche à l'huile). De longues fosses étroites d'environ 2 mètres de largeur et 1,5 mètre de profondeur sont préférables afin d'en faciliter l'accès de toutes parts (Figure 11). Cependant, les dimensions et le nombre des fosses doivent être fonction du volume de déchets prévu. Si de fortes précipitations sont à prévoir, il convient d'en tenir compte lors du remplissage des fosses. Lorsque le stockage temporaire d'hydrocarbures en vrac est requis dans des zones sensibles, telles que des dunes de sable, il est important d'éviter de perturber la végétation stabilisante, ce qui pourrait devenir une cause d'érosion. Où qu'elles soient creusées, les fosses doivent être rebouchées après l'enlèvement complet des hydrocarbures stockés et, la zone doit être, dans la mesure du possible, restaurée dans son état d'origine.

Les sacs en plastique doivent être considérés comme un moyen de transporter les produits pollués plutôt que comme un moyen de stockage car ils ont tendance à se détériorer et à se dégrader au soleil, libérant ainsi leur contenu (Figure 12). Si le contenu doit être traité d'une manière quelconque préalablement à l'élimination,



▲ Figure 7 : Barrages absorbants partiellement pollués. L'utilisation massive d'absorbants doit être évitée pour minimiser la production de déchets.



▲ Figure 8 : Sacs en plastique, contenant des boulettes d'hydrocarbures, temporairement stockés au-dessus de la laisse de haute mer et posés sur des films de plastique pour contenir les fuites éventuelles.



▲ Figure 9 : Fosse bien étanchéifiée contenant différents types de déchets mélangés, nécessitant un effort supplémentaire considérable au niveau du tri et du traitement.



▲ Figure 10 : Hydrocarbures récupérés stockés dans une barge. Une couverture est nécessaire pour empêcher la pénétration de l'eau de pluie.

il sera généralement nécessaire de vider les sacs et de les éliminer séparément. Que les déchets soient stockés dans des récipients, en tas, en piles ou par d'autres moyens, la zone de stockage doit être étanchéifiée et des dispositions doivent être prises pour capter et traiter les suintements afin d'empêcher la contamination secondaire de la zone environnante et des eaux souterraines (Figure 13). Les odeurs émises par la décomposition de la végétation polluée, les mouches et les vermines, peuvent devenir une nuisance si les sites temporaires sont situés à proximité de zones habitées.

La sécurité des zones de stockage temporaire des déchets doit être proportionnelle aux risques associés à l'intrusion dans la zone non autorisée et peut varier de la pose de pancartes et de cordons de sécurité à la mise en place de clôtures plus difficilement pénétrables et à la surveillance 24 heures sur 24. Sans sécurité adéquate, notamment à proximité des centres urbains, le risque supplémentaire de décharge de déchets ménagers et commerciaux aux sites de stockage temporaire est accru. Le délai de transfert des déchets vers les sites d'élimination finale doit également être minimisé de manière à éviter les problèmes causés par la décharge sauvage de déchets et la contamination secondaire.

Lorsque les méthodes d'élimination finale ont été établies et que les capacités le permettent, le transport direct des déchets du littoral vers le site d'élimination final supprime le besoin de stockage temporaire. Il permet également d'éviter la double manutention, de minimiser l'accumulation de déchets et d'achever l'opération de lutte antipollution plus rapidement et plus économiquement.



▲ Figure 11 : Fioul émulsionné transvasé d'une benne vers une fosse de stockage temporaire étanchéifiée.



▲ Figure 13 : Le captage et le traitement des hydrocarbures qui suintent du sable pollué entassé sur le site de stockage temporaire empêchent la contamination de la zone et des eaux souterraines voisines.

Il est utile d'enregistrer les quantités et les types de déchets pollués collectés pour permettre de suivre la progression des opérations au sein du centre de commande. Ces enregistrements serviront également lors de la formulation ultérieure d'une demande d'indemnisation.

## Minimisation de la quantité de déchets

Les problèmes associés à l'élimination peuvent être réduits en accordant la priorité à la minimisation de la quantité de déchets générée pendant l'opération de lutte antipollution. À l'exception des situations où d'autres facteurs priment, cet aspect devrait être considéré comme important au moment du choix de techniques de nettoyage.

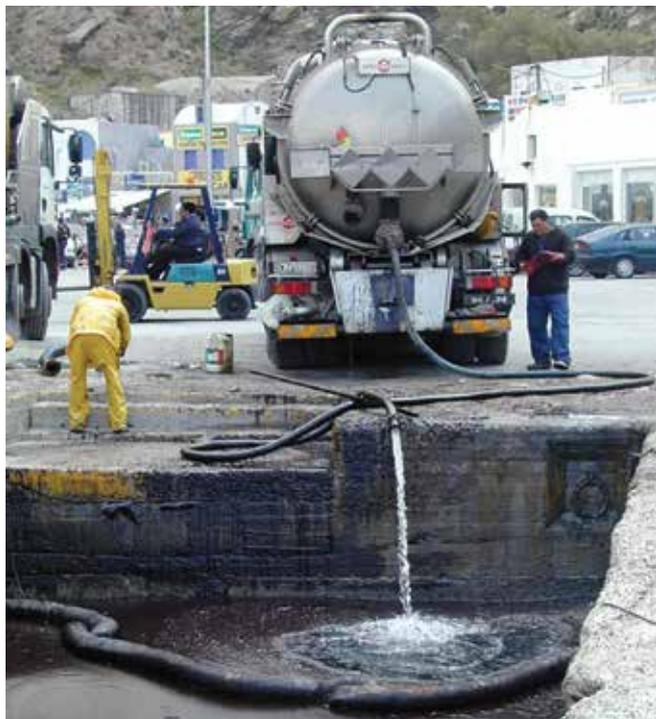
L'élimination est souvent compliquée par la quantité de débris récupérés en même temps que les hydrocarbures. Des relevés côtiers pour repérer les lieux où les débris s'accumulent naturellement indiquent souvent les points d'arrivage probable des polluants. Les débris peuvent parfois être retirés de ces littoraux avant l'arrivage de la pollution, moyennant des ressources financières négligeables par rapport au coût de l'élimination des débris pollués (Figure 14). Une autre solution consiste à donner la priorité à la protection des zones d'accumulation de débris, au moyen de barrages, afin de réduire le risque de contamination de débris propres.



▲ Figure 12 : La dégradation de sacs en plastique par l'exposition prolongée au soleil peut causer des problèmes de recontamination.



▲ Figure 14 : Le retrait des débris présents sur le littoral avant que les hydrocarbures ne s'échouent permet de réduire la quantité de produits pollués à éliminer.



▲ Figure 15 : Vidange de l'eau après décantation du mélange eau/hydrocarbures récupéré dans un camion hydrocureur.

En vue de minimiser la quantité d'eau usée pour l'élimination finale, il peut être possible de décanter l'eau du mélange eau/hydrocarbure récupéré en mer ou en frange littorale. Une fois l'hydrocarbure décanté dans des réservoirs à bord de navires écrémeurs, camions hydrocureurs (Figure 15) ou autres dispositifs, la phase aqueuse peut être vidée vers une zone confinée par un barrage, au moyen des valves présentes à la base des dispositifs. Cette concentration de l'hydrocarbure sert à maximiser la capacité de stockage temporaire, réduisant ainsi les interruptions des opérations de récupération pendant qu'une capacité supplémentaire est organisée. Il convient cependant de noter que, dans certains pays, la législation locale peut interdire le rejet de tout liquide en mer sans dérogation spécifique des autorités concernées.

Il peut être possible de récupérer *in situ* les hydrocarbures des substrats de plage contaminés. Par exemple, les hydrocarbures qui s'écoulent à travers les substrats et les débris récupérés peuvent être confinés dans l'enceinte d'une tranchée ou d'une zone de confinement autour de la zone de stockage. Les substrats de plage pollués peuvent ensuite être lavés à l'eau, parfois en conjonction avec un solvant adapté, tel qu'un agent nettoyant biodégradable, pour libérer l'hydrocarbure. Le lavage peut être effectué au moyen de jets à basse pression pour détacher l'hydrocarbure des débris contenus dans une fosse de stockage provisoire. Le mélange eau/hydrocarbure ainsi obtenu peut alors être pompé vers le dispositif de séparation gravitaire. Une autre approche consiste à déposer le substrat contaminé sur une grille ou un treillis métallique, et à laisser l'hydrocarbure s'écouler dans une benne ou une citerne placée dessous (Figure 16). Ce processus peut être facilité en lavant les déchets à l'eau, ce qui risque toutefois de générer d'importants volumes d'eau polluée. La séparation peut également être effectuée dans un système fermé en utilisant de l'eau ou un solvant. Des dispositifs ont été développés en utilisant différents types d'équipements, notamment les bétonnières pour les opérations par lots à petite échelle ou du matériel de carrière pour le traitement en continu à grande échelle. En dépit du succès de ces systèmes à grande échelle dans des circonstances spécifiques, un temps considérable est nécessaire pour atteindre des niveaux satisfaisants de propreté. En outre, les grandes quantités de fines ou de résidus d'hydrocarbure dans



▲ Figure 16 : Système improvisé pour la filtration des déchets, consistant à faire passer l'hydrocarbure à travers un entonnoir métallique grillagé pour éliminer les débris.

l'eau usée peuvent être difficiles à séparer. Ils ne sont donc pas couramment employés lors de déversements d'hydrocarbures.

Le volume de déchets peut également être réduit en séparant les boulettes d'hydrocarbure du sable propre par ramassage manuel sélectif lorsque le site, par exemple une plage touristique, exige un haut niveau de propreté. Des dispositifs de criblage, statiques et mécaniques, sont parfois employés pour collecter les résidus de sable pollués et les boulettes d'hydrocarbure d'un sable légèrement contaminé (Figure 17). Bien qu'intensif en main-d'œuvre, le nettoyage sur place de grandes quantités de substrat de plage pollué peut s'avérer avantageux par rapport à d'autres méthodes nécessitant le transport du substrat récupéré sur une certaine distance, et l'élimination ultérieure des déchets.

Dans de nombreux cas, un important pourcentage des déchets générés est constitué d'absorbants synthétiques dont une forte proportion n'est souvent que légèrement polluée, voire propre (Figure 7). Les problèmes de déchets sont réduits si l'emploi d'absorbants est réservé aux situations qui excluent toute autre méthode et à condition de veiller à ce qu'ils soient pleinement utilisés.

Lorsque des déchets pollués doivent être éliminés en même temps que les ordures ménagères, par incinération, un accord sur un barème des prix en fonction de la valeur calorifique des déchets peut inciter à minimiser la quantité de déchets non pollués récupérés : plus la teneur en hydrocarbures est élevée, plus la valeur calorifique est élevée et donc plus le prix de l'élimination est bas.

## Options de traitement et d'élimination

Les options possibles pour le traitement et l'élimination finale des hydrocarbures et des déchets pollués sont résumées au Tableau 2 et détaillées ci-après. La méthode d'élimination la plus appropriée en cas d'accident de pollution dépend de plusieurs facteurs, dont la nature et la consistance des déchets, la disponibilité de sites et d'installations adaptés, le coût et les restrictions réglementaires.



▲ Figure 17 : Criblage mécanique de boulettes d'hydrocarbure et de sable pour réduire la quantité de déchets générée.



▲ Figure 18 : Stabilisation de déchets pollués à la chaux vive.

## Récupération des hydrocarbures

Les déchets pollués peuvent être prétraités de manière à récupérer des quantités suffisantes d'hydrocarbures qui seront finalement traités ou mélangés avec des fiouls, puis utilisés. Ce processus exploite les propriétés calorifiques des hydrocarbures dont la vente peut générer des revenus financiers et ainsi compenser le coût des opérations d'élimination. Il représente souvent l'utilisation la plus rentable des hydrocarbures récupérés et devrait faire partie des premières options envisagées. Les réceptionnaires possibles des hydrocarbures destinés au traitement ou au mélange sont les raffineries, les entreprises de récupération d'hydrocarbures spécialisées dans le recyclage des hydrocarbures usés, les centrales énergétiques et les cimenteries. Cependant, étant donné que la plupart de ces installations n'acceptent que les matières premières répondant à des critères rigoureux, les hydrocarbures récupérés doivent être d'une qualité adéquate. Par exemple, ils doivent être pompables, à faible teneur en solides et ne pas contenir plus de 0,1 % de sel pour le traitement en raffinerie, ou 0,5 % pour le mélange dans du fioul. Si l'hydrocarbure convient au recyclage, il est probable que les raffineurs ou autres utilisateurs potentiels disposeront d'une capacité limitée de stockage ou de traitement. Une autre solution de stockage intermédiaire sera éventuellement nécessaire. Les installations de réception des déchets de navires et les stations de déballastage des navires-citernes peuvent convenir mais risquent également d'offrir des capacités limitées.

Les hydrocarbures récupérés en mer sont probablement les plus faciles à préparer pour le traitement étant donné qu'il suffit généralement de les séparer de toute eau libre éventuelle. L'extraction de l'eau des émulsions eau dans l'huile est plus difficile. Les émulsions instables peuvent être liquéfiées par traitement thermique à une température maximum de 80 °C, permettant ainsi la séparation gravitaire de l'hydrocarbure et de l'eau. Les émulsions plus stables peuvent nécessiter le recours à des produits chimiques appelés « briseurs d'émulsion » ou « désémulsifiants ». Autant le traitement thermique que les désémulsifiants peuvent réduire la viscosité de la plupart des hydrocarbures, les rendant ainsi plus aptes au pompage.

Aucun produit chimique ne pouvant à lui seul briser tous les types d'émulsion, des essais sur le terrain seront éventuellement nécessaires pour déterminer l'agent le plus efficace et le dosage optimal. Les dosages typiques sont de l'ordre de 0,1 % à 0,5 % du volume brut à traiter. Le traitement doit être entrepris durant le transfert de l'émulsion du dispositif de récupération vers un réservoir ou d'un réservoir vers un autre pour veiller à un bon brassage et minimiser la dose requise. Le désémulsifiant peut être injecté dans l'entrée d'une pompe ou dans un mixeur statique en

ligne incorporé dans une prise d'aspiration. Après séparation, la phase aqueuse contient la plus grande partie du désémulsifiant et jusqu'à 0,1 % d'hydrocarbure ; l'élimination de ce mélange nécessite donc une attention particulière.

## Stabilisation

Le sable pollué qui ne contient pas de grandes quantités de bois flotté et autres débris peut être lié au moyen d'une substance minérale, telle que la chaux vive (oxyde de calcium) pour former un produit inerte qui empêche l'hydrocarbure de s'écouler et peut être éliminé dans des conditions moins draconiennes que le sable pollué non traité (Figure 18). Ce type de mélange peut également être employé dans les opérations de poldérisation et de construction routière ne nécessitant pas de propriétés de portance élevées, comme les voies de service et les levées de terre en bordure de route. L'adéquation de la technique dépend évidemment d'un approvisionnement abondant en produit stabilisant. La chaux vive peut généralement être obtenue dans les cimenteries. L'avantage qu'elle présente réside dans le fait que la chaleur générée par sa réaction avec l'eau dans les déchets réduit la viscosité de l'hydrocarbure et facilite ainsi la liaison. D'autres produits, comme le ciment, la zéolite, les déchets de cendres pulvérulentes et quelques produits disponibles dans le commerce peuvent également être appliqués.

La quantité optimale de liant hydraulique requise dépend principalement de la teneur en eau des déchets plutôt que de la quantité d'hydrocarbure. Elle peut être déterminée par le biais d'essais. Pour la chaux vive, la quantité requise se situe généralement entre 5 et 30 % du poids du produit brut à traiter. Le traitement peut être effectué soit dans des installations centralisées, soit à proximité du lieu de l'incident. Au centre de traitement, l'agent liant est mélangé aux déchets selon un processus continu. Cette méthode demande l'emploi de matériel coûteux, tel qu'un mélangeur à tambour en continu. Les plus petites quantités peuvent être traitées par lots, au moyen de bétonnières, bien que la chaleur générée par le processus et la nature corrosive de la réaction risquent d'exclure cette méthode.

Les déchets peuvent également être étalés dans des lits de traitement au site d'élimination finale, en couches jusqu'à 30 cm d'épaisseur, puis mélangés à l'aide d'un pulvimixeur qui incorpore la chaux. Après le traitement, les déchets sont soit laissés sur place et recouverts, soit envoyés à la décharge pour être enfouis. À condition de disposer de suffisamment de terrain, cette méthode peut s'avérer celle au rapport coût-efficacité le plus élevé.

Il est parfois préférable de procéder à un mixage primaire dans des fosses au site du déversement pour que le mélange puisse

être plus facilement transporté, par exemple dans des camions ouverts ou des bennes plutôt que dans des camions-citernes. Le traitement final peut alors être effectué dans une plus grande installation de réception, au moyen d'un équipement spécialisé.

Étant donné que cette technique peut donner lieu à une grande quantité de poussières corrosives, le site de traitement doit être sélectionné de manière à minimiser le risque de propagation sur les zones attenantes. Il est également important que le personnel chargé de ces opérations porte des vêtements de protection et des masques intégraux pour se protéger la peau, les poumons et les yeux. Si, après le mixage, le produit doit être utilisé pour la construction routière, le compactage au moyen d'engins de terrassement est essentiel.

## Incinération

Dans certaines situations, l'incinération *in situ* des hydrocarbures flottants fraîchement déversés peut être une très bonne méthode pour éliminer rapidement de grandes quantités de polluant. Cependant, les hydrocarbures déversés ont tendance à perdre leurs composants volatils après très peu de temps en mer et intègrent généralement une forte proportion d'eau. Par conséquent, l'incinération d'hydrocarbures échoués sur le littoral peut être difficile sans réduire tout d'abord la teneur en eau, particulièrement si le polluant en question est resté longtemps en mer. L'incinération directe d'hydrocarbures ou de débris pollués non confinés à terre est déconseillée, sauf dans les zones très isolées, en raison des difficultés de maîtrise du feu et de la fumée dense qui en résultent. Les hydrocarbures brûlés à terre en foyer ouvert ont également tendance à s'étaler et à être absorbés dans le sol. En outre, un résidu goudronneux peut subsister car il est rarement possible

d'obtenir une combustion complète.

Ces problèmes peuvent être surmontés en utilisant un incinérateur qui détruit les déchets par combustion contrôlée à hautes températures. Des incinérateurs portables ont été conçus pour les lieux isolés, destinés principalement à la combustion de déchets médicaux. La législation locale et les préoccupations environnementales risquent cependant d'interdire l'usage de tels appareils pour incinérer les déchets pollués sur le littoral. Ils ne peuvent par ailleurs traiter que les déchets de petite taille en petits lots. À plus grande échelle, les cimenteries et les fours industriels sont un moyen efficace d'incinérer les déchets pollués, sous réserve de certaines contraintes techniques, telles que le retrait des solides de grande taille et les problèmes liés aux métaux lourds, au chlore ou au soufre dans les déchets.

La co-incinération dans une cimenterie est également une méthode d'élimination rentable étant donné que les déchets ayant une valeur calorifique adéquate peuvent être utilisés à la place du combustible qui alimenterait normalement le four. En outre, les cendres issues de la combustion des déchets fournissent de l'aluminium, de la silice, de l'argile et d'autres minéraux généralement ajoutés au flux de matières premières dans la fabrication du ciment. Cependant, les types de déchets pollués acceptés sont limités et les cimenteries sont souvent situées loin du littoral, d'où la nécessité de tenir compte du coût du transport et de la logistique.

En règle générale, les incinérateurs employés pour les déchets ménagers ne sont pas adaptés pour l'élimination de grandes quantités d'hydrocarbures car les chlorures contenus dans l'eau de mer risquent de causer la corrosion de l'infrastructure de l'incinérateur. L'élimination de petites quantités de déchets pollués

	Avantages	Inconvénients
Retraitement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recyclage par valorisation calorifique des hydrocarbures</li> <li>Pas de stockage permanent nécessaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les déchets pollués doivent éventuellement être prétraités</li> <li>Les installations et la capacité de traitement sont limitées</li> <li>Le stockage des déchets à long terme peut être nécessaire en attendant le traitement</li> </ul>
Stabilisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>La législation nationale permet souvent une élimination plus facile des produits pollués stabilisés</li> <li>Recyclage par l'utilisation des produits pollués stabilisés en construction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Appropriée uniquement pour le sable, les graviers et les galets pollués avec des débris de taille limitée</li> <li>Le traitement des produits pollués nécessite un personnel qualifié ainsi que des installations et du matériel de réception adaptés</li> </ul>
Incinération	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peut être employée pour de nombreux types de produits pollués</li> <li>Pas de stockage permanent nécessaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Procédé d'élimination relativement coûteux</li> <li>Les installations appropriées et les capacités de traitement sont limitées</li> <li>Le stockage des déchets à long terme peut être nécessaire</li> </ul>
Épandage agricole ou compostage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accélère le processus naturel de biodégradation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les sites appropriés sont de plus en plus difficiles à trouver</li> <li>Applicable uniquement aux déversements de relativement faible ampleur en raison des grandes superficies de terres requises</li> <li>Tous les hydrocarbures ne peuvent pas être dégradés</li> <li>Processus lent, nécessitant un labourage périodique et un suivi</li> </ul>
Enfouissement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les déchets d'origine animale et végétale se biodégradent naturellement en décharge</li> <li>Peut prendre en charge de grandes quantités de déchets rapidement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Application restreinte par la législation locale</li> <li>Les sites désignés pour les déchets dangereux sont rares et peuvent imposer des tarifs élevés</li> <li>De nombreux types de déchets sont susceptibles de persister longtemps</li> </ul>

▲ Tableau 2 : Synthèse des avantages et des inconvénients des options généralement disponibles pour le traitement et l'élimination des hydrocarbures et des macro-déchets.



▲ Figure 19 : Sacs de déchets pollués introduits dans la trémie de chargement d'un grand incinérateur industriel pour la co-élimination avec les ordures ménagères.

en conjonction avec d'autres déchets peut être acceptable dans certaines installations mais le volume de déchets pollués par rapport au volume de déchets non pollués doit être soigneusement étudié afin de contrôler la température d'incinération (Figure 19). Les vêtements de protection, les absorbants, les filets ou autres articles pollués pouvant ne contenir que peu d'hydrocarbures sont souvent traités selon cette méthode. Les incinérateurs de déchets industriels à haute température, bien qu'ils soient plus susceptibles de tolérer le sel, sont limités en nombre et peuvent être situés dans des zones reculées du territoire. Leur capacité peut être insuffisante pour une incinération rapide de la charge supplémentaire créée par une grande quantité de déchets pollués. Cette voie d'élimination peut toutefois être acceptable et efficace si un dispositif de stockage à long terme est disponible, permettant aux déchets pollués d'être incorporés graduellement dans le flux de déchets.

La pyrolyse, c'est-à-dire la dégradation thermique des déchets en gaz et en résidus solides en l'absence d'oxygène, a également été employée lors d'accidents majeurs. Il s'agit cependant d'un procédé spécialisé et coûteux, pour lequel les installations disponibles ne sont pas nombreuses.

## Épandage agricole et compostage

Avec le temps, les hydrocarbures et les déchets pollués se décomposent sous l'effet des processus biologiques (biodégradation). Ils sont toutefois trop lents pour être une option de nettoyage à court terme viable. La biodégradation des hydrocarbures par les microorganismes ne peut se produire qu'à l'interface entre l'hydrocarbure et l'eau ; à terre, l'hydrocarbure doit être mélangé avec un substrat humide. Le taux de dégradation dépend de la température et de la disponibilité d'oxygène, d'azote et de phosphore. Certains composants des hydrocarbures, tels que les résines et les asphaltènes, sont résistants à la dégradation et peuvent persister longtemps.

« Bioremédiation » est le terme employé pour désigner les méthodes qui accélèrent la décomposition microbienne des hydrocarbures. L'une de ces méthodes est l'épandage agricole : les hydrocarbures et les débris sont épandus sur des terres désignées. Pendant de nombreuses années, les raffineries de pétrole ont construit des fermes d'épandage pour prendre en charge les déchets pollués ; or, l'utilisation en est aujourd'hui de plus en plus restreinte par la législation et les sites adaptés deviennent difficiles à trouver. L'épandage agricole n'est généralement applicable qu'aux



▲ Figure 20 : Décharge. Les déchets à faibles concentrations d'hydrocarbures peuvent être mis en décharge avec les ordures ménagères dans des conditions strictement contrôlées.

déversements de relativement faible ampleur parce qu'il demande une large étendue de terre et que la dégradation s'effectue lentement. Le produit contaminé doit avoir une relativement faible teneur en hydrocarbure et, dans l'idéal, les terres sélectionnées doivent être de faible valeur, situées loin des réserves d'eau potable et non perméables. La couche arable doit préalablement être ameublie à la herse et la zone doit être entourée d'une zone de confinement pour éviter tout ruissellement d'hydrocarbure. Les débris pollués sont ensuite épandus à la surface, sur une épaisseur ne dépassant pas 20 cm, le taux d'application maximum étant de l'ordre de 400 tonnes d'hydrocarbure par hectare de terre. L'hydrocarbure doit ensuite être laissé vieillir jusqu'à ce qu'il ne soit plus gluant, avant d'être entièrement mélangé avec le sol à la charrue ou au motoculteur. Le mixage doit être répété par intervalles pour accroître l'aération du sol et donc la vitesse de biodégradation. Des engrais peuvent également être ajoutés pour accélérer la biodégradation. Si les techniques d'épandage agricole sont employées, l'utilisation d'adsorbants naturels (paille, tourbe ou écorce) pendant les opérations de nettoyage est préférable aux matières synthétiques car elles se décomposent plus rapidement. Les plus gros débris, tels que les morceaux de bois et les blocs, doivent être retirés. Une fois que la plus grande partie des hydrocarbures s'est dégradée, le sol devrait pouvoir nourrir une grande variété de végétaux, y compris des arbres et des graminées herbacées. Si le sol est cultivé, il convient de surveiller de près la teneur en métaux lourds des cultures.

Un autre moyen efficace d'accélérer la dégradation consiste à employer des techniques de compostage, notamment pour les algues contaminées et pour les matières adsorbantes naturelles. À condition que les déchets contiennent des niveaux relativement faibles d'hydrocarbures, ils peuvent être entassés pour faciliter le compostage. De bons résultats ont été obtenus en introduisant de l'air pour accélérer la décomposition. Parce que les tas conservent la chaleur générée pendant le compostage, la technique convient particulièrement bien aux climats froids où la dégradation par épandage agricole est lente.

Dans certaines circonstances, l'utilisation d'agents de bioremédiation et d'engrais disponibles dans le commerce peut être appropriée pour accélérer la dégradation naturelle des hydrocarbures. Ils doivent toutefois être employés avec prudence pour veiller à ce que ce choix de méthode soit rentable.

## Enfouissement

L'élimination des déchets pollués dans des décharges désignées

spécialement à cet effet est la méthode la plus couramment adoptée. Bien qu'elle soit aujourd'hui sérieusement restreinte par la législation dans de nombreux pays, elle peut constituer une option réaliste pour la prise en charge des grandes quantités de déchets générées lors d'un déversement d'hydrocarbures. Les décharges sont souvent soumises à des conditions spécifiques et la réception de déchets peut être limitée à certains types ou volumes, ou bien aux déchets dont la concentration de contaminant ne dépasse pas un certain plafond. Dans certains pays, les déchets pollués doivent être éliminés dans un site spécial pour déchets dangereux. Ces sites sont généralement peu nombreux et peuvent être situés à une distance considérable des littoraux touchés.

Lorsque l'élimination directe est acceptable, les déchets doivent avoir une faible teneur en hydrocarbures pour éviter toute contamination secondaire par les effluents pollués. La teneur exacte varie en fonction du lieu. Les sites dédiés à l'élimination des déchets pollués par les hydrocarbures doivent être situés loin des strates fissurées ou poreuses afin d'éviter le risque de contamination des eaux souterraines, notamment si celles-ci sont extraites à des fins de consommation humaine ou d'usage industriel. La co-élimination des hydrocarbures et des ordures ménagères peut être acceptable dans certains pays (Figure 20) car les hydrocarbures semblent rester fermement adsorbés par tous types d'ordures ménagères, avec une très faible tendance à suinter. Les déchets pollués doivent être déposés au-dessus d'au moins 4 mètres d'ordures ménagères, soit en bandes superficielles de 0,1 m d'épaisseur, soit en tranchées de 0,5 m de profondeur pour permettre le libre écoulement de l'eau. Ils doivent également être recouverts d'un minimum de 2 mètres d'ordures ménagères pour empêcher les hydrocarbures de remonter à la surface sous l'effet de la compression par les véhicules du site.

## Planification des interventions d'urgence

Les plans d'intervention d'urgence doivent examiner les options d'élimination disponibles pour la prise en charge de quantités et de types différents de produits pollués. Ils doivent rester locaux car les méthodes de nettoyage et d'élimination adoptées dépendront largement de la législation nationale et locale en matière de déchets, ainsi que de la disponibilité de matières premières, d'équipement et de sites d'élimination appropriés à proximité du site de déversement. Les plans doivent être régulièrement mis à jour de manière à incorporer les changements de législation susceptibles d'affecter la disponibilité de certaines options d'élimination. Les coordonnées des entreprises spécialisées dans la récupération et/ou le traitement des hydrocarbures, ainsi que les emplacements et les capacités des raffineries, des incinérateurs et autres installations pouvant accepter des déchets doivent être inclus dans les annexes du plan.

L'évaluation des risques entreprise dans le cadre du processus de planification des interventions d'urgence détermine les lieux où des déversements sont le plus probables et ceux où des hydrocarbures risquent de s'échouer. Des sites de stockage temporaire des déchets, proches de ces zones à haut risque, doivent être identifiés très tôt. Le problème de l'élimination finale peut alors être abordé en plusieurs étapes afin d'éviter de dépasser les capacités de chaque filière d'élimination. Des accords préalables avec les propriétaires des terres et les autorités concernées simplifieront la construction des sites de stockage en cas de déversement. Des conseils complémentaires à ce sujet sont donnés dans le Guide d'Informations Techniques : Planification d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures en mer.

### L'essentiel

- L'élimination des hydrocarbures et des déchets pollués par les hydrocarbures est un problème considérable, notamment à la suite des opérations de nettoyage du littoral susceptibles de générer d'importantes quantités de débris. Il est donc essentiel de prendre l'élimination des déchets en considération lors de la planification des interventions d'urgence.
- Bien que diverses techniques aient été mises au point pour prendre en charge les hydrocarbures et les déchets pollués, un grand nombre sont limitées au niveau de leurs applications et de leurs capacités. En cas de déversement majeur, toutes les options doivent être examinées.
- Les décisions concernant le traitement des déchets devraient être prises au début d'un accident et reposer sur des attentes réalistes quant aux types et aux quantités de déchets susceptibles d'être générés.
- Au moment de déterminer les filières éventuelles de recyclage et d'élimination des déchets, la législation locale en matière de déchets doit être observée et les autorités compétentes consultées.
- La disponibilité de stockage temporaire doit être préalablement établie dans les zones à haut risque de déversement, pour servir de tampon entre la récupération des hydrocarbures en mer ou à terre et l'élimination finale.
- Lorsqu'il existe des filières d'élimination différentes pour différents types de déchets, ceux-ci devraient être séparés dès le point de récupération.
- Les possibilités de recyclage des hydrocarbures utilisables doivent être examinées avant l'élimination, ainsi que les options de valorisation calorifique des déchets.
- Les techniques qui aboutissent à la destruction des hydrocarbures sont préférables à l'enfouissement, bien que susceptibles d'être plus coûteuses.
- Le coût de l'élimination, y compris la manutention et le transport, constituera probablement un élément important du coût global de la lutte antipollution.

## GUIDES D'INFORMATIONS TECHNIQUES

- 1 Observation aérienne des déversements d'hydrocarbures en mer
- 2 Devenir des déversements d'hydrocarbures en mer
- 3 Utilisation des barrages dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures
- 4 Utilisation des dispersants dans le traitement des déversements d'hydrocarbures
- 5 Utilisation des récupérateurs dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures
- 6 Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux
- 7 Nettoyage des hydrocarbures sur les littoraux
- 8 Utilisation de matériaux absorbants dans la lutte contre la pollution par les hydrocarbures
- 9 Traitement et élimination des hydrocarbures et des débris
- 10 Direction, commandement et gestion des déversements d'hydrocarbures
- 11 Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les pêches et la mariculture
- 12 Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les activités sociales et économiques
- 13 Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement
- 14 Échantillonnage et suivi des déversements d'hydrocarbures en mer
- 15 Préparation et soumission des demandes d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures
- 16 Planification d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures en mer
- 17 Intervention en cas d'accident chimique en mer

L'ITOPF est une organisation à but non lucratif, fondée au nom des armateurs du monde entier et de leurs assureurs. Sa mission : contribuer à l'efficacité des interventions de lutte contre la pollution en cas de déversements en mer d'hydrocarbures, de produits chimiques et autres substances dangereuses. De l'intervention d'urgence à la formation, l'éventail de services proposés comprend également l'apport de conseils techniques en matière de nettoyage, l'évaluation des dommages causés par la pollution et l'aide à la préparation de plans d'intervention en cas de déversement. Source d'informations exhaustives sur la pollution marine par les hydrocarbures, l'ITOPF publie ce document dans le cadre d'une série de guides basés sur l'expérience de son personnel technique. L'information qu'il contient peut être reproduite avec la permission expresse préalable de l'ITOPF. Pour tout renseignement complémentaire, merci de vous adresser à :



### ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, Royaume-Uni

Tél: +44 (0)20 7566 6999  
Fax: +44 (0)20 7566 6950  
24h: +44 (0)20 7566 6998

E-mail: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)  
Web: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)