

Guide sur les techniques de nettoyage des littoraux souillés

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en matière de gestion des accidents et du personnel d'intervention d'urgence



IPIECA

Association Internationale de l'industrie pétrolière pour la Protection de l'Environnement

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 7633 2388 Télécopieur : +44 (0)20 7633 2389
Courriel : info@ipecica.org Internet : www.ipecica.org



Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP)

Siège social

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 3763 9700 Télécopieur : +44 (0)20 3763 9701
Courriel : reception@iogp.org Internet : www.iogp.org

Bureau de Bruxelles

Boulevard du Souverain 165, 4e étage, B-1160 Bruxelles, Belgique
Téléphone : +32 (0)2 566 9150 Télécopieur : +32 (0)2 566 9159
E-Courriel : reception@iogp.org

Bureau de Houston

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, États-Unis
Téléphone : +1 (713) 470 0315 Courriel : reception@iogp.org

Rapport 521 de l'Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP)

Date de publication : 2015

© IPIECA-IOGP 2015 Tous droits réservés.

Aucune partie de cette publication ne saurait être reproduite, stockée dans un système d'extraction ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, mécanique, photocopie, par enregistrement ou autre, sans le consentement écrit préalable de l'IPIECA.

Exonération de responsabilité

Bien que tous les efforts possibles aient été fournis pour assurer l'exactitude des informations contenues dans cette publication, ni l'IPIECA, ni l'IOGP, ni aucun de leurs membres passés, présents ou futurs ne garantissent leur exactitude ou n'assument la responsabilité d'une quelconque utilisation prévisible ou imprévisible de cette publication, même en cas de négligence de leur part. Par conséquent, ladite utilisation se fait aux risques et périls du destinataire, avec la convention que toute utilisation par le destinataire constitue un accord avec les conditions de cet avertissement. Les informations contenues dans cette publication ne prétendent pas constituer des conseils professionnels de différents contributeurs de contenu, et ni IPIECA, ni l'IOGP ni ses membres n'acceptent quelque responsabilité que ce soit pour les conséquences de l'utilisation ou la mauvaise utilisation de la présente documentation. Ce document peut fournir des indications qui viennent compléter les exigences de la législation locale. Cependant, rien dans les présentes n'est destiné à remplacer, modifier, abroger ou autrement déroger à ces exigences. En cas de conflit ou de contradiction entre les dispositions de ce document et la législation locale, les lois applicables prévaudront.

Guide sur les techniques de nettoyage des littoraux souillés

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en matière de gestion des accidents et du personnel d'intervention d'urgence

Préface

Cette publication fait partie de la série des Guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, qui résume les opinions actuelles en matière de bonnes pratiques sur des sujets variés relatifs à la préparation et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures. Cette série vise à harmoniser les pratiques et les activités du secteur, à informer les parties prenantes et à servir d'outil de communication pour promouvoir la sensibilisation et l'éducation.

Elle met à jour et remplace la célèbre « Oil Spill Report Series » de l'IPIECA, publiée entre 1990 et 2008. Elle couvre des sujets qui sont largement applicables à l'exploration comme à la production, ainsi qu'aux activités d'expédition et de transport.

Les révisions sont entreprises par le projet sectoriel commun d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures de l'IOGP-IPIECA (le JIP, « Oil Spill Response Joint Industry Project »). Le JIP a été créé en 2011 pour valoriser les enseignements en matière de la préparation et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures de la marée noire d'avril 2010 dans le golfe du Mexique.

Remarque sur les bonnes pratiques

Dans ce contexte, une « bonne pratique » constitue un énoncé de lignes directrices, de pratiques et de procédures, internationalement reconnues, qui permettra au secteur de l'industrie pétrolière d'atteindre des performances acceptables en termes de santé, de sécurité et d'environnement.

Les bonnes pratiques pour un sujet particulier seront amenées à évoluer au fil du temps à la lumière des innovations technologiques, de l'expérience pratique et de l'amélioration des connaissances scientifiques, ainsi que des changements politiques et sociaux.

Table des matières

Préface	2	<i>Utilisation de bétonnières</i>	41
Introduction	4	<i>Le lavage in-situ</i>	42
Section 1 : Les principes directeurs	5	<i>Le lavage à haute pression</i>	43
Un enjeu local	5	<i>L'utilisation d'agents chimiques de nettoyage</i>	44
Réduire les mouvements de l'hydrocarbure échoué	6	<i>Utilisation d'absorbant particulaire comme agent masquant</i>	45
La planification d'urgence	6	<i>Le criblage</i>	46
Structure organisationnelle	7	<i>Les machines de nettoyage des plages</i>	47
L'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT)	9	<i>Hersage/labourage</i>	48
Analyse des avantages environnementaux nets (NEBA) et la sélection des techniques de nettoyage	9	<i>Le réapprovisionnement en sable</i>	49
Des critères de validation réalistes et atteignables	10	Section 4 : Type de littoraux et caractéristiques liées de contamination	50
Les conditions météorologiques et les marées	12	Les zones humides	50
Séparation des zones « chaudes » (sales) et « froides » (propres ou traitées)	13	<i>Mangroves</i>	51
Gestion, minimisation et tri des déchets	13	<i>Les marais salants</i>	51
Section 2 : La procédure de gestion du nettoyage du littoral	15	<i>Restauration</i>	52
La surveillance et le suivi	16	Les cailloux et les galets	52
Planification	19	<i>Les hydrocarbures enfouis</i>	52
Opérations	22	<i>Le cycle « échoué – coulé – échoué »</i>	55
Clôture	25	Shingle and cobbles	55
Section 3 : Les techniques de nettoyage du littoral	26	<i>Pénétration de l'hydrocarbure dans les littoraux de cailloux et de galets</i>	55
Les techniques défensive/passives de nettoyage	26	<i>Revêtements d'asphalte</i>	56
<i>Collecte des débris</i>	26	Les falaises et les baies rocheuses	56
<i>Le nettoyage passif — « le nettoyage naturel »</i>	27	Les ports	57
<i>La bioremédiation</i>	29	Les protections côtières	58
<i>Les absorbants utilisés en mode passif</i>	30	Résumé	59
Les techniques actives de nettoyage	31	Références	60
<i>La récupération de l'hydrocarbure flottant</i>	31	Lectures recommandées	61
<i>Creusement de tranchée</i>	33	Annexe 1 : Exemple de formulaire d'inscription de bénévole	63
<i>Récupération manuelle de l'hydrocarbure échoué</i>	34	Annexe 2 : Exemple de fiche de chantier quotidienne	64
<i>Récupération mécanique de l'hydrocarbure échoué</i>	36	Remerciements	65
<i>Surf washing</i>	38		
<i>Jets d'eau basse pression (Flooding/Flushing)</i>	40		

Introduction

Le présent guide de bonnes pratiques est divisé en quatre sections. La première section présente les dix facteurs essentiels qui doivent être pris en compte lors de toute réflexion sur le nettoyage des littoraux souillés. La section 2 propose une analyse de la procédure de gestion des opérations de nettoyage des littoraux. La troisième section décrit certaines des techniques de nettoyage les plus fréquemment utilisées et présente les avantages et les limites de chacune d'entre elles, ainsi que les stades opérationnels auxquels chaque technique est susceptible d'être la plus utile. La quatrième section examine l'interaction entre l'hydrocarbure échoué et les différents types de littoraux et propose des approches afin de relever les défis que cette interaction peut présenter. Un résumé succinct est fourni en page 59, suivi de la section *Bibliographie* et des lectures recommandées. Enfin, les deux annexes fournissent des exemples de formulaire d'inscription des bénévoles et d'une fiche de chantier quotidienne.

Section 1 : Les principes directeurs

Dix principes clés orientent les décisions stratégiques en matière de nettoyage du littoral. Les décisions sur les questions telles que les techniques de nettoyage adaptées aux différents types de littoraux, les équipements pouvant être utilisés, le nombre de personnes qui doivent être déployées et les critères de clôture des opérations relèvent d'un équilibre délicat. Des matrices associant les différents hydrocarbures, niveaux de souillage et types de littoraux avec les techniques de nettoyage optimales, peuvent être établies ; cependant, d'autres facteurs peuvent parfois jouer un rôle déterminant et faire pencher la balance d'une approche recommandée vers une autre plus adaptée aux circonstances, notamment pour des raisons de sécurité. Les principes directeurs présentés ci-dessous visent dès lors à fournir un bref aperçu des facteurs les plus importants influant sur les décisions en matière de nettoyage du littoral, bien que l'importance de chacun d'entre eux dépendra des circonstances d'un accident particulier.

Les principes directeurs applicables aux décisions garantissant une mise en œuvre efficace d'opérations de nettoyage du littoral incluent :

1. admettre que le nettoyage du littoral est un enjeu local nécessitant un soutien local ;
2. minimiser les mouvements de l'hydrocarbure échoué ;
3. définir des plans d'urgence détaillés afin d'anticiper les accidents potentiels ;
4. mettre en place une structure organisationnelle qui assure un soutien effectif et permette une surveillance étroite, afin de garantir la sécurité du personnel travaillant sur le littoral et la mise en œuvre appropriée des techniques de nettoyage ;
5. adopter un protocole normalisé de signalement des littoraux souillés (technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT)) ;
6. sélectionner les techniques de nettoyage sur la base d'une Analyse des avantages environnementaux nets (NEBA) ;
7. convenir de critères de validation réalistes et atteignable grâce aux techniques de nettoyage disponibles et correspondant à " l'usage " ou aux " services " fournis par le littoral ;
8. prendre en compte les conditions météorologiques et les marées ;
9. réduire la contamination secondaire en maintenant une séparation entre les zones chaudes (sales) et les zones froides (propres ou traitées) ; et
10. gérer et minimiser la quantité de déchets souillés, lorsque c'est possible et approprié, en triant les flux de déchets à la source.

Un enjeu local

Les statistiques sur les déversements, notamment s'agissant des déversements depuis des navires, font état d'une diminution encourageante durant ces dernières années, les statistiques mondiales n'offrent cependant que peu de réconfort pour les communautés locales touchées par un déversement majeur. Il s'agit des communautés touchées de plein fouet par un déversement, soit en raison de l'impact sur l'économie locale comme le tourisme et la pêche, de la perte provisoire des infrastructures côtières utilisées par la population locale et les touristes ou tout simplement la perturbation causée par le déploiement d'un grand nombre de personnes et de machines en vue du nettoyage du littoral. Le nettoyage du littoral constitue l'élément le plus visible de la lutte contre le déversement et attire inévitablement l'attention des médias. Le littoral est généralement accessible aux médias et aux groupes d'intérêts particuliers ; par ailleurs, en raison du grand nombre de canaux de communication disponibles, l'inquiétude est susceptible de se propager rapidement parmi la communauté locale pour atteindre un public plus large et avoir des répercussions imprévisibles.

Cependant, les communautés locales peuvent également constituer une précieuse ressource, leur participation à la lutte étant vitale. Non seulement leurs représentants peuvent formuler des recommandations sur les enjeux locaux et communiquer les inquiétudes et les sensibilités existantes, mais en outre leur expertise locale peut s'avérer indispensable. Ceci inclut, par exemple, des

connaissances sur les ressources disponibles qui peuvent être mobilisées pour appuyer les opérations de nettoyage, sur les points d'accès au littoral, les propriétaires des cultures côtières qui seront traversées afin d'accéder au littoral et les zones présentant des risques particuliers à l'égard du personnel évoluant sur le littoral. De plus, comme les vents et les courants dominant tendent à diriger l'hydrocarbure vers les mêmes zones littorales que les débris flottants, une expertise locale sur les zones d'accumulation des débris le long du littoral peut permettre de prioriser les activités d'évaluation de la pollution du littoral.

Réduire les mouvements de l'hydrocarbure échoué

Il faut trouver un bon équilibre entre attendre que tout l'hydrocarbure atteigne la côte afin d'éviter d'avoir à nettoyer à maintes reprises les mêmes zones à chaque nouvel échouement, et collecter l'hydrocarbure le plus rapidement possible. Dans la majeure partie des cas, la collecte rapide de l'hydrocarbure atteignant la côte sera privilégiée, afin d'éviter qu'il ne s'enfouisse ou qu'il ne se remobilise et flotte vers d'autres zones, y compris des zones non souillées et des zones déjà nettoyées. Les circonstances de l'accident peuvent cependant imposer le contraire, notamment dans le cas d'un déversement unique d'hydrocarbure depuis un navire et en fonction des risques de déplacement et d'enfouissement de l'hydrocarbure, il peut être judicieux d'attendre que la totalité de l'hydrocarbure atteigne les côtes, non seulement pour éviter les opérations répétées de nettoyage mais aussi pour réduire la quantité de déchet généré. D'autre part, une fuite persistante depuis une installation de production ou d'exploration pourrait nécessiter l'élimination régulière de l'hydrocarbure au fur et à mesure qu'il atteint la côte.

Dans certaines situations, la remobilisation de l'hydrocarbure échoué depuis des littoraux sensibles peut néanmoins constituer une technique privilégiée permettant de mettre en œuvre des opérations de récupération près des côtes, ou pour favoriser l'échouement de l'hydrocarbure sur un littoral moins sensible sur lequel son élimination sera plus facile. C'est notamment le cas s'agissant des zones humides ou des littoraux vaseux.

La planification d'urgence

Les plans régionaux ou locaux de lutte contre les déversements d'hydrocarbures considèrent le risque de déversement en termes de fréquence potentielle et de conséquences probables en examinant tout d'abord les sources potentielles de déversement, l'ampleur probable du déversement et, si cela peut être anticipé, les types d'hydrocarbure susceptibles d'être déversés. La modélisation de la trajectoire d'hydrocarbure déversé en fonction des conditions météorologiques et des courants dominants permet d'identifier les ressources les plus vulnérables sur le chemin d'un déversement. Essentiellement, lors de l'élaboration d'un plan de lutte contre un déversement d'hydrocarbure, les techniques et stratégies de lutte les plus appropriées sont définies dans une atmosphère calme, loin de la pression induite par un déversement. Une fois que les scénarios les plus probables ont été identifiés, les options de lutte pour chaque scénario peuvent être examinées et les niveaux appropriés de personnel, d'équipement et de matériels peuvent être envisagés ainsi que la structure de l'organisation de lutte nécessaire à la gestion des événements les plus probables. Bien que les dispositifs d'urgence doivent être adaptés aux circonstances spécifiques d'un accident, un certain nombre de décisions auront déjà été adoptées durant le processus de planification. Par exemple, les organisations ou agences dont le personnel pourra être mobilisé, ainsi que les informations sur les entreprises en mesure de fournir de l'équipement et du personnel pour travailler sur les plages, seront connues. En outre, les questions de déchets souillés auront été examinées, y-compris l'identification des sites appropriés pour le stockage temporaire et les options d'élimination définitive existantes incluant une capacité suffisante de traitement de la quantité attendue de déchets.

L'organisation d'exercices réguliers dans le cadre du plan d'urgence de lutte contre les déversements d'hydrocarbure offre l'opportunité d'identifier et de rectifier les problèmes. Les exercices permettent aussi aux personnes participantes de tisser des relations de travail et de connaître les rôles des autres personnes évoluant au sein de la structure organisationnelle. Pour en savoir plus sur la planification d'urgence et les exercices de lutte contre les déversements d'hydrocarbures, consultez les Guides de bonnes pratiques de l'PIECA-IOGP sur le sujet (PIECA-IOGP 2015a et 2014a).

Structure organisationnelle

Il n'est pas possible de garantir l'efficacité et le succès des opérations de nettoyage sans gestion efficace de tous les volets de la lutte. Aucun équipement spécialisé ne saurait pallier à une organisation défailante. Lutter contre un déversement exige la mise en place d'une structure organisationnelle cohérente couvrant la lutte dans son ensemble, combinant la maîtrise de la source, l'observation aérienne du déversement, les opérations en mer et le nettoyage du littoral. Les opérations sur le littoral dépendent d'une organisation permettant un échange rapide d'informations fiables entre les spécialistes SCAT évoluant sur le littoral, l'équipe de gestion et le personnel évoluant sur les plages. Le système doit être en mesure de s'adapter à une situation en constante évolution, en réagissant aux informations communiquées depuis le littoral et en s'assurant que toutes les ressources logistiques nécessaires à la mobilisation du matériel, l'élimination des déchets collectés, et à la santé et la motivation des effectifs, ont été mises en place tout en suivant les coûts et en mobilisant suffisamment de fonds pour financer la lutte.

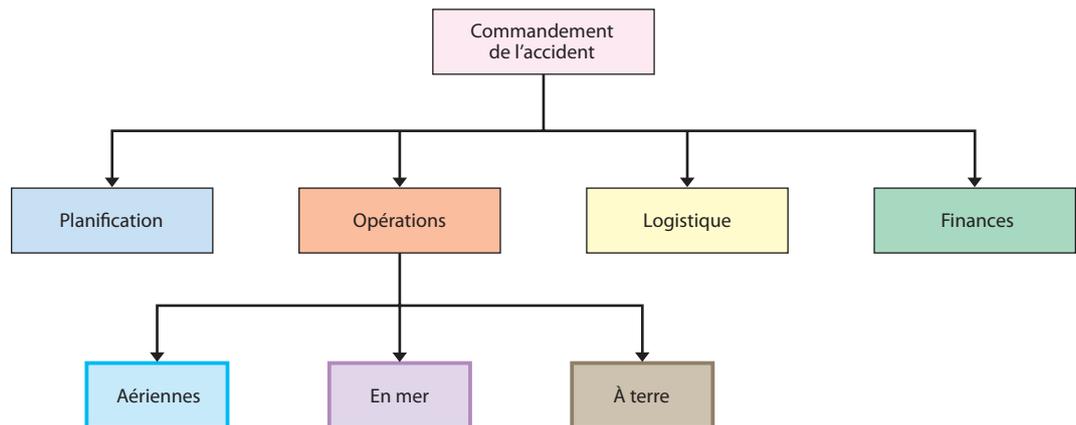
Dans un souci d'efficacité, les capacités de gestion doivent être adaptées au nombre de personnes travaillant sur le littoral. L'augmentation du nombre de personnes travaillant sur le littoral ne saurait suffire pour améliorer les résultats à moins d'être gérées de manière appropriée. Le déploiement initial du personnel et des équipements doit faire l'objet d'un suivi régulier et être intensifié ou diminué afin d'optimiser l'efficacité et l'efficacité. Une évaluation réaliste des progrès et des ajustements nécessaires pour faire face à l'évolution des conditions est essentielle, tout comme les effectifs doivent pouvoir être augmentés si besoin, ou la lutte réduite lorsque les opérations touchent à leur fin. Un suivi étroit est nécessaire afin de garantir la sécurité des équipes travaillant sur le littoral, afin de s'assurer que les techniques de nettoyage recommandées et les pratiques de travail sont bien respectées, mais aussi afin de faire un usage optimal des ressources disponibles.

Dans différents pays du monde, si la gestion de lutte contre les déversements est organisée de façons différentes, une approche, connue sous le nom de Système de commandement des accidents (*Incident Command System (ICS)* en anglais), utilisée par les Gardes côtes des États-Unis (*United States Coast Guard (USCG)* en anglais) et d'autres organisations, a néanmoins été largement appliquée (voir la figure 1 à la page 8). Un des principaux avantages de l'ICS est la mise à disposition de modèles pour un grand nombre d'organisations différentes qui pourront être rapidement assemblées pour constituer une structure cohérente au sein de laquelle la chaîne de commandement, les lignes de communication, une terminologie commune et les rôles spécifiques sont clairement définis.

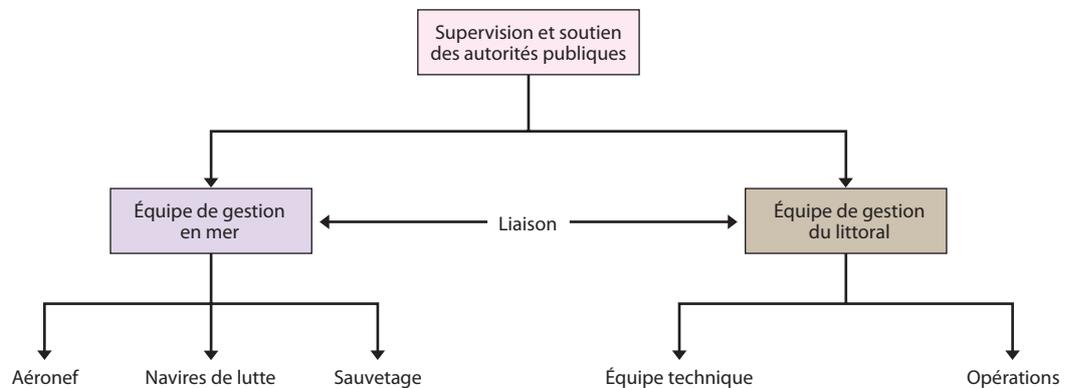
La figure 1b propose un organigramme simplifié d'une structure organisationnelle alternative, dont certaines variantes sont utilisées dans de nombreux pays. C'est notamment le cas lorsque les responsabilités sont réparties entre lutte en mer et lutte sur le littoral. Par exemple, la marine nationale ou les gardes côtes peuvent être chargés de la lutte en mer alors que les opérations de nettoyage du littoral peuvent relever de la compétence d'une agence ou du ministère de l'Environnement, ou encore des autorités régionales ou locales. Lorsque cette division des responsabilités existe, une liaison étroite entre les organisations chargées des opérations en mer et celles gérant le nettoyage du littoral est essentielle.

Figure 1 Comparaison des structures organisationnelles de gestion de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures

(a) Système de commandement de l'accident



(b) Une structure organisationnelle alternative



En cas de déversement, la majeure partie du personnel formée sur l'ICS sera en mesure de collaborer avec les autorités dans le cadre d'une structure organisationnelle alternative. C'est l'occasion de réaliser des exercices de lutte contre les déversements d'hydrocarbures avec lesdites autorités, afin de permettre au personnel du secteur et aux autorités publiques de développer des modes de collaboration et de stimuler l'intégration au sein d'une structure unique de collaboration.

Pour en savoir plus sur ce thème, nous vous recommandons de consulter le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, 2016 sur la gestion des accidents.

L'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT)

Si les reconnaissances SCAT peuvent être mises en œuvre de nombreuses façons, elles poursuivent substantiellement le même objectif –fournir un protocole de signalement systématique de la pollution du littoral. Sans une telle analyse, il est très difficile d'attribuer un ordre de priorité aux différentes activités de nettoyage, dans la mesure où, en fonction de l'observateur, un même événement pourra être perçu comme une pollution de grande ampleur ou une diffusion légère. En outre, il est important de disposer, tout au long du nettoyage, de références normalisées permettant d'évaluer les progrès. La situation sur le littoral sera en mutation constante, c'est pourquoi il est essentiel que les résultats d'une reconnaissance du littoral soient communiqués le plus rapidement possible et diffusés à ceux qui utiliseront les informations pour diriger les opérations. Un format de signalement normalisé facilite la collecte rapide des informations nécessaires.

Pour en savoir plus, nous vous recommandons de consulter le Guide de bonnes pratiques de l'PIECA sur les techniques d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (PIECA-IOGP, 2014b) qui traite de ce sujet de manière détaillée. Les termes utilisés dans les sections suivantes pour décrire le niveau et les caractéristiques du littoral sont ceux employés par le Guide de bonnes pratiques SCAT.

Analyse des avantages environnementaux nets (NEBA) et la sélection des techniques de nettoyage

L'évaluation des avantages environnementaux nets d'une technique de nettoyage spécifique prend en considération plusieurs facteurs et notamment : le type de littoral, par exemple, s'agit-il d'un littoral vaseux, sableux ou rocheux ; quel est son niveau d'exposition ; sa sensibilité environnementale et sociale et sa saisonnalité ; ainsi que la quantité, la persistance, la toxicité et le taux d'élimination naturelle de l'hydrocarbure déversé.

Pour en savoir plus sur les méthodologies liées à la NEBA, nous vous recommandons de consulter le Guide de bonnes pratiques de l'PIECA sur l'analyse des avantages environnementaux nets (PIECA-IOGP, 2014c). En substance, le processus permet une évaluation des options de nettoyage disponibles, pour s'assurer que les techniques sélectionnées génère un avantage environnemental et/ou économique appréciable par rapport aux résultats d'une attitude passive consistant à s'en remettre à la régénération naturelle, sans causer plus de nuisance que l'hydrocarbure lui-même. Le processus implique également la comparaison des facteurs conflictuels afin de parvenir au meilleur des compromis. Cela implique souvent de trouver le juste équilibre entre des demandes contradictoires visant à réduire les impacts environnementaux plutôt que les impacts socio-économiques et inversement. Il s'agit notamment des décisions approuvant l'utilisation de techniques de nettoyage agressives comme le lavage à l'eau chaude / à haute-pression, ou l'utilisation de dispersants ou d'autres agents chimiques près des côtes ou sur le littoral lui-même. Selon le compromis réalisé dans une telle situation, le risque d'un dommage environnemental localisé, susceptible d'être généré par le recours à de telles techniques, est compensé par l'avantage découlant de la rapidité et l'efficacité du nettoyage.

L'évaluation elle-même se base généralement sur un jugement qualitatif ou semi-quantitatif formé en prenant en compte tous les facteurs pertinents. Les éléments clés sont les suivants :

- i) un examen impartial de l'importance écologique des ressources naturelles au sein de la zone affectée par le déversement et des modes d'utilisation de ces ressources par l'homme (également appelées services environnementaux et socio-économiques) ;
- ii) une compréhension intégrale de l'évolution et des effets de l'hydrocarbure déversé et une définition précise des limites, des avantages et des inconvénients des techniques de nettoyage proposées ; et

iii) sur la base des expériences antérieures et des connaissances actuelles, une évaluation des résultats qui devraient être générés par la technique de nettoyage proposée comparés aux processus de nettoyage naturels de l'hydrocarbure ; il convient également de se demander si les opérations de nettoyage sont susceptibles de causer plus de mal que de bien.

Bien que l'acronyme NEBA soit largement utilisé, il est susceptible d'induire en erreur à deux titres. Premièrement, l'*analyse* des avantages environnementaux nets suggère la mise en œuvre d'une évaluation quantitative formelle, alors que, le plus souvent, la NEBA implique des jugements qualitatifs dans le cadre desquels les différents facteurs écologiques et économiques à prendre en compte sont mis en balance eu égard à leur importance pour la zone touchée ; une décision pragmatique doit être prise sur le fondement d'une argumentation équilibrée. Dans tous les cas, le processus doit être proportionné à l'ampleur de l'impact ; les discussions en la matière doivent de préférence être menées durant la phase de planification de la lutte contre le déversement d'hydrocarbure, en amont de tout déversement. Deuxièmement, comme indiqué précédemment, le volet *environnemental* de la NEBA couvre l'avantage des opérations de nettoyage à l'égard des services environnementaux et économiques du littoral affecté. Cependant, comme le nettoyage du littoral est généralement dicté par l'usage qu'en font les hommes, en matière commerciale ou de loisirs, les demandes socio-économiques (et politiques) doivent être mises en balance avec l'impact environnemental de la technique de nettoyage sélectionnée.

Même s'il semble logique d'attendre des opérations d'élimination de l'hydrocarbure qu'elles réduisent le dommage environnemental, un examen¹ des vitesses de régénération après déversement pour des types de littoraux incluant les côtes rocheuses et les marais salants a montré que le nettoyage n'avait pas généré d'avantage suffisamment important en termes de régénération des organismes vivants sur les littoraux affectés. L'examen suggère que, dans certains cas, notamment dans les zones humides sensibles, le nettoyage est susceptible de ralentir la vitesse de régénération.

Des critères de validation réalistes et atteignables

Les représentants des communautés touchées par un déversement d'hydrocarbure exigent souvent que les littoraux soient rétablis à leur état antérieur au déversement et qu'aucune trace de l'hydrocarbure ne subsiste à la fin des opérations de nettoyage. Bien qu'il s'agisse à première vue d'une revendication raisonnable, à court terme ceci n'est ni possible ni, dans de nombreux cas, nécessaire. En termes de capacités, chacune des techniques décrites dans la Section 3 permet d'éliminer une quantité déterminée d'hydrocarbure, seules les techniques les plus agressives étant en mesure d'éliminer toutes les traces d'hydrocarbure. L'importance accordée aux considérations esthétiques par rapport aux autres facteurs influera sur la définition du critère de validation requis et déterminera si l'élimination active de telles traces est nécessaire. Enfin, les résidus d'hydrocarbure persistant sur les surfaces exposées s'estomperont et seront progressivement éliminés dans le cadre des processus naturels, généralement à l'issue de trois cycles saisonniers, si bien que seules quelques traces subsisteront. Néanmoins, l'élimination des hydrocarbures incorporés aux sédiments en anaérobiose est susceptible d'être plus lente et nécessiter quelques décennies.

Le nettoyage des littoraux est souvent conçu comme un processus en trois phases, la première phase impliquant la collecte de l'hydrocarbure en vrac, soit flottant le long du littoral ou échoué sur celui-ci, la deuxième phase nécessitant la collecte ou le traitement in-situ des substrats côtiers exposés à une contamination modérée à grave comme le sable ou les galets pollués², alors que la troisième phase

¹ Sell, D. *et al.*, 1995.

² Le terme « galet » est utilisé dans ce document pour désigner les littoraux de gravier ou les littoraux mixtes de sédiments grossiers composés d'une combinaison de sables, de granulés, de galets et de cailloux (voir le tableau 2).

Table 1 Les phases opérationnelles du nettoyage du littoral

Première phase	Collecte de la contamination brute – récupération de l'hydrocarbure flottant le long du littoral et de l'hydrocarbure en vrac et de l'hydrocarbure accumulé sur la côte.
Deuxième phase	Élimination de la contamination modérée à grave – collecte de l'hydrocarbure échoué ou traitement in-situ des substrats souillés.
Troisième phase	Traitement final ou polissage – traitement des sédiments légèrement contaminés et collecte des résidus d'hydrocarbure et des souillures.

consiste à éliminer les résidus persistants de l'hydrocarbure afin de finaliser le nettoyage (polissage final) - voir le tableau 1. La première phase est souvent conçue comme la *phase d'urgence* car il est nécessaire de collecter rapidement l'hydrocarbure avant qu'il n'ait l'opportunité de se déplacer vers une autre zone, alors que la deuxième et la troisième phase sont souvent considérées comme des *phases de projet* dans le cadre desquelles la pression temporelle est généralement moindre et la planification des opérations possibles plus minutieuse.

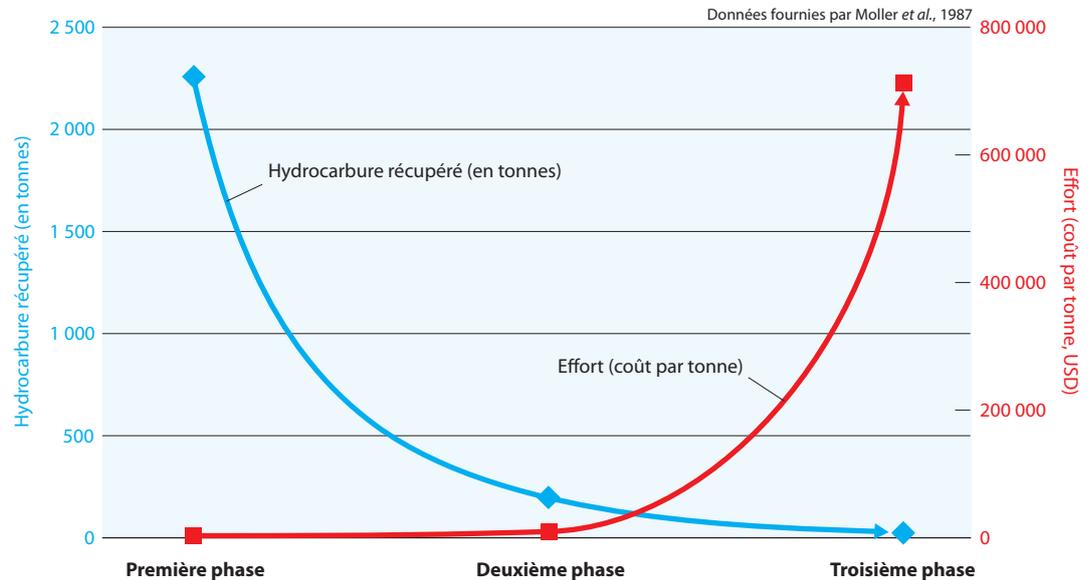
Les différents « usages » publics, commerciaux et environnementaux d'une section spécifique du littoral impliquent la définition de critères de validation différents. Par exemple, un littoral rocheux exposé et isolé, difficilement accessible, nécessite un critère de validation bien différent de celui applicable à une plage de loisirs pendant ou à la veille de la saison touristique.

Eu égard aux processus naturels de nettoyage, et notamment l'exposition à l'agitation de la mer, il est possible que les opérations de nettoyage allant au-delà de la collecte de l'hydrocarbure mobile (première phase) ne soient pas nécessaires et constituent un gaspillage de ressources. De toute évidence, dans le cas d'une plage de loisir, les trois phases du nettoyage doivent être mises en œuvre. Les résultats des NEBA réalisés à chaque phase constituent un facteur clé permettant de déterminer quand il convient de mettre fin aux opérations et de décider si l'ensemble des trois phases doivent être mises en œuvre.

Il peut parfois être judicieux de définir un critère de validation temporaire. Dans les climats tempérés menacés par des tempêtes hivernales, il est possible que les opérations doivent être interrompues afin de laisser la place au nettoyage naturel pendant l'hiver. Un contrôle sera réalisé au printemps afin de vérifier s'il convient de poursuivre les opérations de nettoyage. Sous les climats tropicaux, les saisons propices aux typhons ou aux ouragans peuvent également provoquer une interruption des opérations de nettoyage.

Ce type d'approche est tout particulièrement pertinent lorsqu'il est constaté que la diminution de la quantité d'hydrocarbure restant s'accompagne d'efforts toujours plus intensifs pour éliminer ces résidus (voir la figure 2 à la page 12). De manière générale, seulement 10 à 20 % de l'effort global de nettoyage est déployé pour éliminer 90 % de l'hydrocarbure récupérable alors que les 10 % restants peuvent nécessiter le déploiement de 80 % de l'effort, en fonction du critère de validation choisi. À un point spécifique, l'effort nécessaire dépasse l'avantage généré par la poursuite de toute activité. Le moment auquel on atteint ce point dépend du type de littoral. De manière générale, il est plus facile d'amener les plages de sable à un niveau de propreté plus élevé que des côtes de galets ou de cailloux. De même, le niveau de difficulté est fonction du type d'hydrocarbure en question, les fiouls lourds étant généralement plus difficiles à nettoyer que les déversements d'hydrocarbures bruts ou légers en raison de la persistance plus importante des fiouls lourds.

Figure 2 Rendements dégressifs- exemple des coûts des opérations de nettoyage dans le cas d'un déversement en Extrême-Orient



En résumé, cinq questions générales peuvent être posées pour déterminer si la poursuite des opérations de nettoyage est nécessaire :

1. L'hydrocarbure restant constitue-t-il une source potentielle de nuisance pour les ressources sensibles sur le plan écologique ?
2. La poursuite des opérations de nettoyage générera-t-il plus de mal que de bien ?
3. L'hydrocarbure porte-t-il atteinte au potentiel esthétique ou à l'usage du littoral à des fins récréatives ?
4. Le niveau résiduel de la contamination nuit-il aux ressources économiques ou perturbe-t-il les activités économiques ?
5. L'effort requis par la poursuite des opérations de nettoyage dépasse-t-il les bénéfices écologiques et économiques susceptibles d'être générés ?

Les conditions météorologiques et les marées

L'expression anglaise « *le temps et les marées n'attendent personne* » s'applique tout particulièrement aux opérations mises en œuvre sur le littoral. Des enjeux de sécurité particuliers doivent être intégrés lors des opérations sur les littoraux soumis aux marées, tels que des schémas de travail. Si les heures de travail contractuelles peuvent correspondre à une journée de travail normal, les marées ne suivent pas le même rythme. Dans des conditions spécifiques de marées, certains littoraux seront inaccessibles, si bien qu'il sera nécessaire d'ajuster les heures de travail en fonction des marées. Dans certains cas, l'hydrocarbure échoué peut être submergé entre la mi-marée et la marée haute, le rendant inaccessible aux équipes de nettoyage. En outre, les variations mensuelles ou saisonnières des marées devront être prises en compte lors de l'organisation du stockage temporaire des déchets, généralement dans la partie supérieure de la plage, mais également lors de l'examen de la force des courants en vue du déploiement de barrage. Les tempêtes combinées aux marées hautes peuvent provoquer une montée significative des eaux, notamment lors de l'équinoxe de mars et de septembre. L'hydrocarbure échoué au-delà du niveau de marée haute est souvent remobilisé durant les équinoxes, c'est pourquoi il est recommandé de garder le potentiel de remobilisation de l'hydrocarbure à l'esprit durant ces périodes.

Si la mise en œuvre d'opérations sur le littoral était nécessaire dans des conditions de chaleur ou de froid extrême, ou par forte pluie, les périodes de travail devront également être ajustées afin de garantir la santé des effectifs. Les équipements de protection individuelle (EPI) appropriés et une tenue vestimentaire adaptée aux conditions météorologiques dominantes sont également de rigueur. L'effet des températures élevées sur le comportement de l'hydrocarbure échoué doit également être pris en compte, ce qui pourrait éventuellement nécessiter de travailler durant les heures plus fraîches de la journée. Par exemple, il est possible que les émulsions visqueuses se fragmentent sous l'effet de la chaleur et libèrent un hydrocarbure liquide. Les boulettes de goudron semi-solides peuvent également perdre de leur consistance à des températures élevées, remettant ainsi en cause l'efficacité des machines de nettoyage utilisées sur les plages et articulées autour du tamisage du sable pour éliminer les boulettes de goudron.

Séparation des zones « chaudes » (sales) et « froides » (propres ou traitées)

La définition de zones de contamination « chaudes », « tièdes » et « froides » sur chaque site permet d'éviter la propagation superflue d'une contamination secondaire et notamment la contamination des zones propres dépourvues d'infrastructure de décontamination, qui pourrait résulter du transfert de l'hydrocarbure vers ces zones à la suite de mouvements incontrôlés d'équipements, de véhicules et de personnes. Le nombre de véhicule se déplaçant au sein de la zone contaminée doit être limité afin de réduire l'incorporation de l'hydrocarbure dans le sédiment, et de réduire leurs déplacements aux zones dites « chaudes ». De telles mesures et l'accès restreint des véhicules transportant des déchets souillés aux zones « froides » permettront d'éviter la propagation de l'hydrocarbure sur les routes et de réduire la quantité de déchets générés. Des postes de décontamination peuvent être installés afin de traiter le personnel quittant la section contaminée de la plage, pour contrôler le déplacement des équipements et machines contaminés d'un site de travail vers un autre ou lors de leur démontage à la fin des opérations. La mise en place de dispositifs de contrôle des écoulements depuis ces zones de lavage devra être envisagée afin d'éviter la propagation de la contamination.

L'identification des sites de stockage temporaire des déchets dans le cadre du processus de planification suppose la reconnaissance de sites potentiels, en ayant à l'esprit les mécanismes qui doivent être mis en place pour éviter que ceux-ci deviennent à leur tour une source de contamination secondaire. Outre les contrôles physiques, de tels mécanismes peuvent consister à nommer une équipe opérationnelle chargée tout particulièrement de mettre en place et faire respecter de tels dispositifs.

Gestion, minimisation et tri des déchets

La gestion, le transport et l'élimination des déchets constituent les activités les plus onéreuses de lutte contre un accident d'envergure. L'analyse des quantités de déchets générés constitue également un précieux indicateur du bon déroulement des opérations. À la suite d'un déversement majeur, une quantité significative de déchets, souvent dix fois plus importante que la quantité d'hydrocarbure déversé, est générée dans un délai très bref. Cette quantité dépassera très certainement les capacités des infrastructures existantes, qui sont généralement dimensionnées pour des quantités bien plus faibles, couvrant les besoins des activités industrielles locales et municipales courantes. En pratique, il est probable que le nombre d'options d'élimination viables soit limité et que, dans certaines juridictions, les déchets présentant une teneur en hydrocarbure élevée soient considérés comme des matériaux dangereux nécessitant des traitements spécifiques. En conséquence, l'élimination des déchets peut devenir un goulet d'étranglement dans le cadre des opérations de nettoyage, bloquant parfois les activités sur le littoral jusqu'à la mise en place d'options adaptées de stockage et d'élimination des déchets collectés. L'identification de voies d'évacuations viables ou, au moins, de sites de stockage temporaire constitue un des éléments les plus importants de la planification de la lutte contre les

déversements d'hydrocarbure. Dans certaines situations, une collecte excessive des matériaux composant la plage peut mener à une déstabilisation du littoral et entraîner une augmentation des niveaux d'érosion. Eu égard à de telles difficultés, il convient de prêter une attention toute particulière à la génération et la réduction des déchets comme le recommande le présent Guide de bonnes pratiques.

Comme mentionné ci-dessus, une façon de réduire les déchets consiste à ne pas utiliser d'équipements lourds sur les littoraux et de collecter, autant que possible, les déchets manuellement. Sur les plages de sable, les méthodes mécaniques génèrent en moyenne, pour la même quantité d'hydrocarbure collectée, cinq fois plus de déchets que les méthodes manuelles. En d'autres termes, la teneur en hydrocarbure du sable contaminé s'élève en moyenne entre 5 et 10 % lorsqu'il est collecté manuellement contre une teneur de 1 à 2 % lorsque les déchets sont collectés par voie mécanique. Le nettoyage manuel est néanmoins peu praticable sur de longs segments de plages gravement souillés. La quantité de déchets générés peut également être significativement réduite par la mise en œuvre de techniques évitant la collecte des substrats littoraux, comme le surf washing ou le labourage avec une herse ou une charrue. La génération de déchets constitue un facteur crucial lors du choix des techniques de nettoyage les plus adaptées au moyen d'une NEBA.

Selon une autre recommandation souvent formulée, le personnel de lutte doit s'assurer que les déchets sont triés à la source en différents flux de déchets, permettant l'application d'options de traitement des déchets différentes en fonction de chaque flux. Par exemple, les déchets liquides pourront être traités d'une façon, le sable gravement souillé d'une autre, et les débris souillés, y-compris les EPI, d'une troisième façon. Le tri des déchets a l'avantage de réduire les quantités de matériaux devant être éliminés en tant que déchets dangereux et de faciliter le chargement sur des installations aux capacités limitées. Cependant, le tri des déchets en différents flux n'apporterait aucun bénéfice s'il n'existait qu'un seul parcours et si tous les déchets finissaient au même endroit. Même dans cette dernière situation, il pourrait être utile d'envisager certaines options de traitement, et notamment d'éviter le transport superflu de quantités excessives d'eau en procédant à la décantation sur site ou en compressant les matériaux absorbants avant le transport afin de réduire la majeure partie du volume des matériaux. En fonction de la réglementation locale, il peut être possible de rejeter l'eau libérée vers le site du déversement ; des dispositions permettant le traitement ultérieur peuvent également être requises.

Pour en savoir plus sur ce sujet, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur la réduction et la gestion des déchets des déversements d'hydrocarbures (IPIECA-IOGP, 2014d).

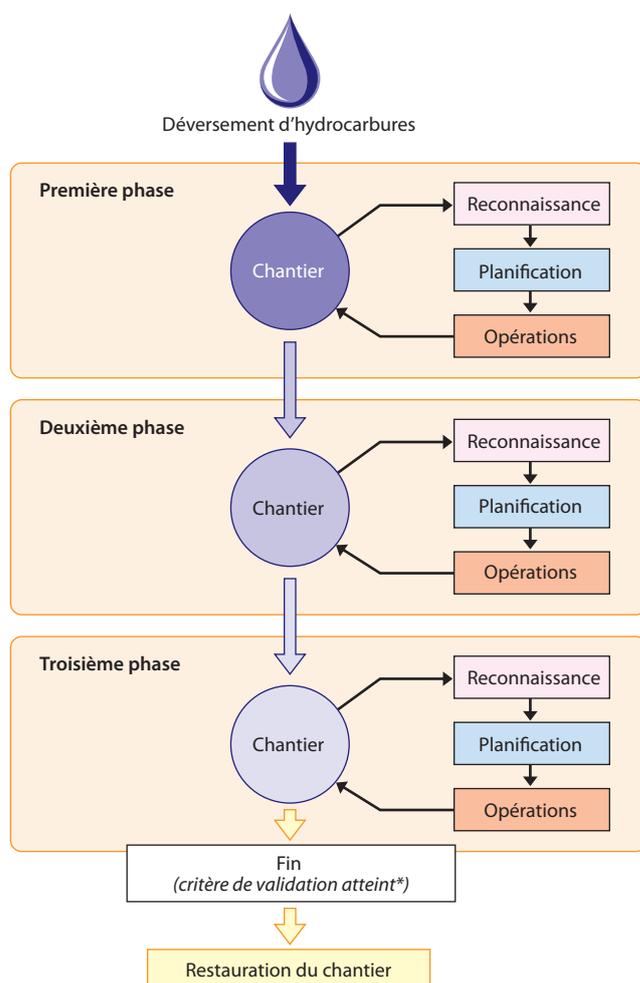
Section 2 : La procédure de gestion du nettoyage du littoral

Même si les opérations de nettoyage peuvent être analysées dans le cadre des trois phases décrites aux pages 10 – 11, les quatre étapes suivantes sont généralement mises en œuvre lors de la gestion des opérations de nettoyage du littoral :

- **la surveillance et le suivi** : évaluation de l'envergure des opérations requises ;
- **la planification** : définition des paramètres des opérations et notamment des critères de validation ;
- **opérations** : mise en œuvre des opérations de nettoyage ; et
- **fin** : fin des opérations une fois les critères de validation satisfaits et transition vers une période de restauration du chantier.

Pour simplifier : la fonction de *surveillance et de suivi* permet d'identifier quelles activités seront mises en œuvre ; les conseils techniques sur la meilleure façon de réaliser de telles activités étayent les décisions prises au stade de *planification* ; la fonction *opérationnelle* applique quant à elle les conseils pour assurer la bonne exécution des activités. Pendant le déroulement des activités, chaque étape est partie intégrante d'un cycle continu : évaluer les progrès réalisés ; adapter les conseils techniques à l'évolution de la situation ; et modifier les procédures opérationnelles en conséquence jusqu'à ce que les critères de validation soient atteints et les opérations clôturées (voir la figure 3).

Figure 3 Le cycle de gestion du nettoyage du littoral



* En fonction du critère de validation convenu, il pourra être mis fin aux opérations à la validation des phases une, deux ou trois

La surveillance et le suivi

Les éléments clés de la surveillance et du suivi incluent : les observations aériennes ; les équipes en charge de l'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) ; les protocoles de communication.

À moins que la source et l'ampleur de la pollution soient évidentes, par exemple lorsque le déversement est confiné dans un port, une des premières actions de lutte suivant un déversement consiste à organiser des missions de reconnaissance aérienne. Elles visent à collecter des informations sur la nature de l'accident, l'envergure de la pollution et la probabilité des conséquences immédiates. Les missions de reconnaissance aérienne permettent de procéder rapidement à une évaluation initiale de la portée et l'envergure possibles des opérations de lutte requises.

Une fois que l'hydrocarbure a atteint le littoral, les hélicoptères constituent la plateforme d'observation la plus flexible, offrant une meilleure manœuvrabilité que les avions à voilure fixe et qui, en fonction de la réglementation locale, offrent la possibilité de se poser sur le littoral afin de procéder à des inspections plus poussées. Ces observations initiales fournissent des informations sur la répartition de l'hydrocarbure le long du littoral et permettent d'identifier les zones les plus gravement touchées. Elles permettent en outre d'identifier les ressources environnementales déjà touchées et celles menacées, ainsi que les voies d'accès potentielles aux littoraux touchés. Ces données sont utilisées pour étayer des reconnaissances plus poussées (par ex. les SCAT) qui seront réalisées à pied ou en bateau. Il est essentiel de vérifier au sol toutes les observations faites depuis les airs, c'est-à-dire de vérifier visuellement les résultats de ces reconnaissances en procédant à des observations subséquentes au sol. Certains éléments, comme les dépôts minéraux, les algues et l'affleurement de tourbe, peuvent être facilement confondus avec un hydrocarbure en raison de leur apparence lorsqu'ils sont observés depuis les airs. Surtout, il n'est pas possible d'obtenir une estimation fiable de l'épaisseur de l'hydrocarbure échoué au moyen d'observations aériennes. De plus, sur certaines plages de sable, il est possible que l'hydrocarbure échoué soit recouvert par une couche de sable éolien ou de sable amassé par les marées suivantes. Sur les plages de cailloux et de galets, il est probable que l'hydrocarbure pénètre dans le substrat, si bien que sans reconnaissance au sol, il est impossible de connaître la profondeur d'une telle pénétration. De même, la profondeur de l'hydrocarbure accumulé sur les plages rocheuses peut être déterminée uniquement au moyen d'observations rapprochées.

La nécessité de conserver un ou plusieurs hélicoptères sur le site alors que les reconnaissances au sol sont en cours et que les opérations de nettoyage ont commencé dépend des circonstances de l'accident. Si la couverture géographique de la pollution et la répartition de l'hydrocarbure échoué sont susceptibles d'évoluer au fil du temps, en raison de l'échouement de quantités supplémentaires d'hydrocarbure sur la côte ou de remobilisation d'hydrocarbure le long du littoral, les hélicoptères pourraient rester nécessaires. Le transport aérien des équipes d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) vers des sites isolés qui sont inaccessibles par les véhicules routiers doit également être pris en compte.

La composition des équipes SCAT est très importante. Généralement, de tels groupes sont pilotés par un spécialiste technique rompu aux opérations de nettoyage du littoral, à la géologie côtière et aux protocoles de reconnaissance, et se composent également des représentants des organes juridictionnels et des communautés touchées. Après avoir pris en compte tous les facteurs pertinents, des décisions finales sur les meilleures techniques de lutte seront prises par l'équipe de gestion du déversement ; cependant, l'équipe SCAT doit être en mesure de formuler des recommandations opérationnelles fiables afin que les opérations de nettoyage puissent commencer le plus rapidement possible. Les observations faites par ces équipes déterminent en grande partie le cours de la lutte sur le littoral, l'organisation de lutte dans son ensemble se fiant à leurs recommandations.

Au sein de certaines organisations de lutte, les tâches incombant à l'équipe de reconnaissance se limitent à signaler la répartition de l'hydrocarbure et les niveaux de contamination ; sur le fondement d'un tel rapport, une seconde équipe est déployée afin de proposer les techniques optimales de nettoyage. L'inconvénient d'une telle approche dans une situation en évolution constante est qu'elle implique des retards à chaque étape ; ainsi, au moment où le second groupe a formulé ses recommandations et le personnel et l'équipement requis sont déployés, il est possible que la situation ait considérablement évolué.

Le nombre de membres de l'équipe SCAT doit être limité. Un groupe devenant trop important risque non seulement d'être confronté à des difficultés en termes de transport mais aussi de rendre l'arrivée à un consensus plus compliquée. Cependant, dans le cadre d'un accident couvrant une grande zone géographique, plusieurs équipes SCAT pourront être déployées. On ne soulignera jamais assez l'importance des protocoles normalisés de communication, indispensables pour assurer un niveau de cohérence entre les équipes et entre les reconnaissances successives. Les descriptions normalisées des caractéristiques du littoral s'inscrivent dans le cadre du système de classification largement reconnu, appelé Indice de sensibilité environnementale (ou *Environmental Sensitivity Index (ESI)* en anglais), qui se base sur la vulnérabilité à la pollution par hydrocarbure et établit un classement sur une échelle de 1 à 10, avec 1 désignant un littoral robuste et résistant et 10 le littoral le plus vulnérable (Figure 4).

Figure 4 L'indice de sensibilité environnementale

	1A Côte rocheuse exposée		8A Escarpements abrités sur substrat rocheux, boueux ou argileux et côte rocheuse abritée
	1B Structure artificielle en dur exposée		8B Côte artificielle en dur abritée
	1C Falaise rocheuse exposée avec blocs à la base		8C Enrochements abrités
	2A Plateformes d'abrasion exposées sur substrat rocheux, boueux ou argileux		8D Plages de cailloux et blocs abrités
	2B Escarpements et pentes abruptes exposés sur surface argileuse		8E Estran de tourbe abrité
	3A Plages de sable fin à moyen		9A Vasières abritées
	3B Petite falaise de sable		9B Berges végétalisées
	4 Plages de sable grossier		9C Vasière
	5 Plages de sédiments mixtes : sable et graviers		10A Marais maritimes (schorre) et saumâtre
	6A Plages de graviers et de petits galets		10B Marais d'eau douce
	6B Enrochement et plages de gravier (galets et rochers)		10C Marécage
	7 Estran exposé (vaste terrasse de basse mer de sable fin)		10D Mangroves

Les descriptions normalisées du littoral incluent également les dimensions moyennes des substrats (taille des grains) du littoral affecté (Tableau 2).

Tableau 2 Les descripteurs du littoral

Description	Taille du grain (en mm)
Vase/limon/argile	0,00024-0,625
Sable	0,625-2,0
Petits galets/granules (graviers)	2,0-64
Galets	64-256
Blocs	> 256

Source : adapté de MCA, 2007

Les termes comme « léger », « modéré » et « grave » peuvent être utilisés afin de classer la surface initiale recouverte par l'hydrocarbure (intégrant la répartition de l'hydrocarbure et l'étendue du souillage sur la plage), les mêmes termes pouvant être utilisés pour procéder à cette classification initiale de la surface en fonction de l'épaisseur moyenne de l'hydrocarbure et au classement final de la surface souillée. Il s'agit d'un paramètre très important pour l'équipe de gestion, lors du suivi des circonstances du souillage du littoral et des progrès du traitement segment par segment. L'utilisation de termes et définitions normalisés est décrite dans les différents guides et manuels traitant du SCAT dans les sections *Références* et *Lectures* recommandées du présent guide, et résumée dans le tableau 3, ci-dessous.

Tableau 3 Terminologie normalisée en matière de localisation, répartition, épaisseur et caractéristique de l'hydrocarbure

Position sur le littoral	
Zone intertidale inférieure	Tiers inférieur de l'amplitude de la marée
Zone intertidale intermédiaire	Tiers intermédiaire de l'amplitude de la marée
Zone intertidale supérieure	Tiers supérieur de l'amplitude de la marée
Zone supra-tidale (zone d'éclaboussures).	Au-delà de la ligne des hautes eaux

Distribution	
Trace	<1 %
Clairsemée	1–10 %
Epars	10-50 %
Discontinue	50-90 %
Continue	90-100 %

Épaisseur	
Hydrocarbure épais espeso	>10 mm
Couche	1–10 mm
Couche	0,1–1 mm
Tâche	<0.1 mm
Film	Irisations

Caractéristiques de l'hydrocarbure échoué	
Frais	Hydrocarbure non vieilli
Mousse	Hydrocarbure émulsionné
Boulettes de goudron	Fragments discrets (boulettes), généralement d'hydrocarbure vieilli, dimension <100 mm
Galettes de goudron	Hydrocarbure vieilli, dimension >100 mm
Goudron	« Couche » hautement vieillie
Résidu d'hydrocarbure en surface	Hydrocarbure mobile et mélanges de sédiments à la surface ou à l'intérieur des interstices
Revêtements d'asphalte	Mélange stable d'hydrocarbure et de sédiments (généralement des cailloux)
Aucun hydrocarbure observé	Pas d'hydrocarbure visible

Planification

Les principaux éléments de planification incluent : l'utilisation des données SCAT et des cartes de sensibilité ; la définition des priorités ; l'adaptation des techniques de nettoyage aux types de littoral et au degré de pollution ; la segmentation et la sélection de critères de validation.

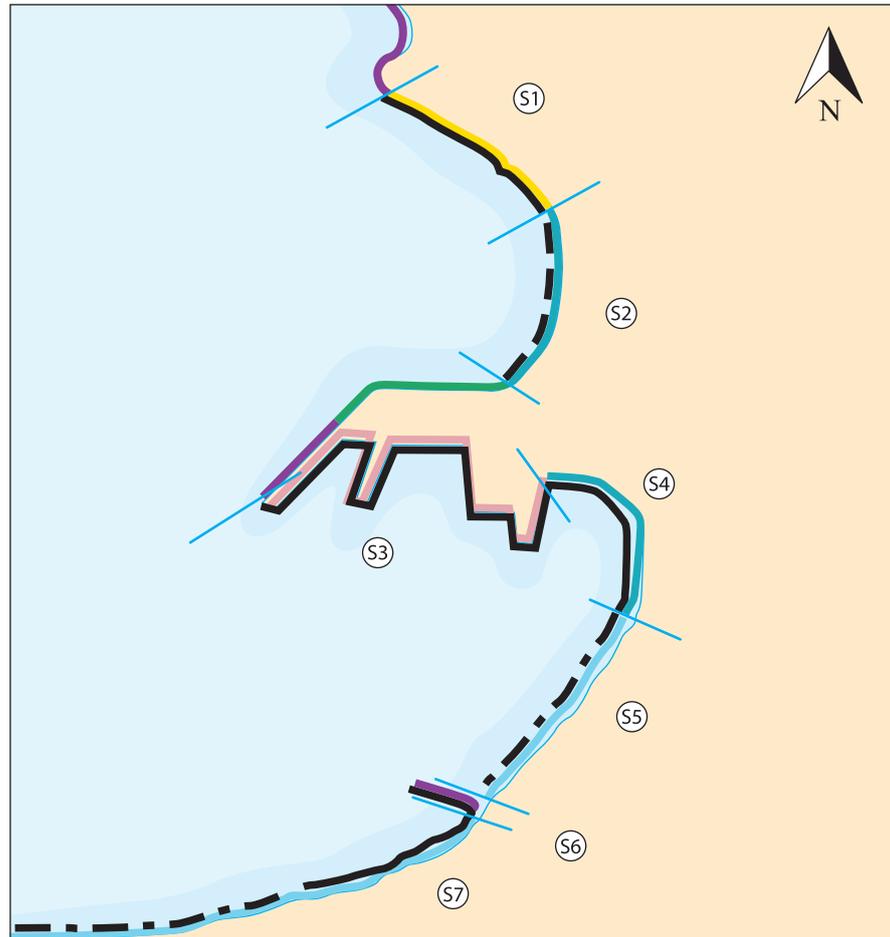
Dans le cadre du processus de planification de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures dans des zones dans lesquelles des dispositifs détaillés de lutte ont été mis en place, il est probable que des cartes de sensibilité soient établies afin de mettre en évidence, entre autres, les zones présentant une vulnérabilité environnementale ou une importance socio-économique particulière. Les informations collectées et présentées sur les cartes de sensibilité, assorties des informations générées dans le cadre de la reconnaissance SCAT initiale sur les niveaux de contamination, la répartition et les caractéristiques de l'hydrocarbure, servent de base pour la définition des priorités du nettoyage du littoral. Les accumulations d'hydrocarbure frais susceptibles de se mobiliser et se déplacer vers des zones non souillées ou des zones très vulnérables constituent généralement la cible prioritaire. Une fois le risque de déplacement de l'hydrocarbure éliminé, le classement des zones permettant de définir la priorité des opérations de nettoyage se base sur un équilibre entre le niveau de pollution des zones les plus touchées et l'importance ou la vulnérabilité de la zone, tel qu'indiqué sur les cartes de sensibilité. La cartographie des zones sensibles dans le cadre des opérations de lutte contre les déversements d'hydrocarbures constitue le thème d'un Guide de bonnes pratiques du même nom (IPIECA-IMO-IOGP, 2012).

Grace au maintien de la même composition de l'équipe SCAT tout au long de la lutte, les mêmes personnes qui ont recommandé le recours à une technique spécifique de nettoyage sont en mesure de suivre sa mise en œuvre et, si nécessaire, d'adapter leurs recommandations en conséquence. Les membres de l'équipe SCAT seront alors bien placés pour déterminer si le critère de validation souhaité a bien été atteint, dans la mesure où ils disposent de bonnes connaissances sur les conditions du littoral au début des opérations et sur le niveau de propreté qui peut être raisonnablement atteint à l'issue de celles-ci.

Les applications courantes des techniques de nettoyage spécifiques, leur pertinence sur des types de littoraux particuliers et l'identification des techniques les plus efficaces lors des opérations de lutte, sont traitées de manière détaillée dans la Section 3, à la page 26. Afin de gérer les opérations de manière efficace, le littoral affecté est divisé en segments de travail au sein desquels le type de littoral ou le niveau de contamination est plus ou moins uniforme et dont les limites sont facilement identifiables. Les limites de segments sont généralement identifiables par un changement de type de littoral, mais peuvent également s'appuyer sur un élément naturel comme une rivière ou un cours d'eau, ou un repère spécifique comme un bâtiment visible ou un point d'accès. Les limites de segments peuvent également être définies par un changement significatif du niveau de contamination (par ex., d'une contamination modérée à une absence de contamination). La division du littoral en segments permet de faciliter la gestion des opérations de nettoyage en appliquant des techniques de nettoyage adaptées aux chantiers en fonction du type de littoral ou de l'état de la contamination, et afin d'attribuer des critères de validation spécifiques à chaque segment (voir la figure 5 à la page 20).

Il est essentiel que les critères de validation des deuxième et troisième phases de nettoyage soient déterminés pour chaque segment de littoral au début des opérations sur le littoral, lors de la planification de la lutte, en prenant en compte les résultats des évaluations NEBA. Comme différentes techniques de nettoyages permettent d'atteindre différents critères de validation, le choix du critère de validation influence grandement la technique de nettoyage qui sera appliquée sur chaque segment du littoral. Non seulement les critères de validation fournissent aux équipes de nettoyage une idée précise du niveau de propreté ciblé, mais ils permettent aussi de modérer les attentes à l'égard des résultats des opérations de nettoyage.

Figure 5 Exemple de segmentation d'un littoral souillé



Segment	ESI (voir la figure 4)	Contamination (voir le tableau 3)
S1	8A Côte rocheuse abritée	Hydrocarbure continu, épais, sans émulsion (mousse)
S2	3A Plage de sable de grain fin à moyen	Hydrocarbure discontinu, épais, mousse
S3	8B Structures artificielles abritées, solides	Couverture continue, mousse
S4	3A Plage de sable de grain fin à moyen	Hydrocarbure continu, épais, mousse
S5	4 Plage de sable grossier	Couverture fragmentée, mousse
S6	1B Côte artificielle en dur exposée	Couverture continue, mousse
S7	4 Plage de sable grossier	La mousse épaisse et continue au nord du segment est plus modérée et fragmentée au sud

Des dénominations cohérentes doivent être utilisées afin de garantir une bonne compréhension des critères de validation. Ces descriptions sont les mêmes que celles utilisées pour exprimer le niveau de contamination durant les premières reconnaissances SCAT, sauf qu'elles se focalisent sur l'utilisation de critères semi-quantitatifs pour la répartition de l'hydrocarbure, tel qu'illustré dans le tableau 4. Des descriptions supplémentaires sont parfois utilisées, notamment s'agissant des critères de validation applicables aux plages de loisirs de sable, comme « *pas d'hydrocarbure enfoui, pas de texture grasseuse, pas d'irisation et pas d'odeur d'hydrocarbure* ». Des films ou des irisations, argentés ou incolores flottant au bord de la mer sont généralement associés aux littoraux souillés ; ils représentent cependant des quantités très limitées d'hydrocarbure en raison de la faible épaisseur du film. S'agissant des souillures ou des films sur des côtes rocheuses de loisirs, « *l'hydrocarbure qui ne déteint pas sur les vêtements* » peut également servir de test en vue d'un critère de validation potentiel.

Tableau 4 Exemples illustrant les critères de validation possibles

Les types de littoral	Exemple de critères de validation proposés
Protections maritimes en béton	Distribution fragmentée d'hydrocarbure à couche continue. Pas d'hydrocarbure mobile libéré durant le rinçage naturel (certaines irisations sont acceptables)
Végétation des berges d'un fleuve	Distribution fragmentée d'hydrocarbure - pas d'hydrocarbure mobile libéré durant le rinçage naturel (les irisations sont acceptables).
Vasières	Résidu d'hydrocarbure clairsemé en surface
Plage de sable récréative	Pas d'hydrocarbure visible, pas d'hydrocarbure enfoui, pas de texture grasse, pas d'irisation et d'odeur d'hydrocarbure.
Les criques rocheuses et les plages de galets accessibles au public	Couche fragmentée de goudron pour les affleurements rocheux (ne déteint pas sur les vêtements) ; résidu clairsemé d'hydrocarbure à la surface pour les galets (hydrocarbure dans les interstices) - des panneaux d'avertissement doivent être mis en place.

Lorsqu'ils sont pris conjointement avec la terminologie définie dans le tableau 3 (page 18), les critères de validation proposés ci-dessus constituent des observations semi-quantitatives qui peuvent être facilement interprétées dans des termes pratiques. Occasionnellement, un critère de validation peut être proposé et impliquer la poursuite du nettoyage jusqu'à ce que les concentrations d'hydrocarbure dans le sédiment de la plage soient réduites à un niveau spécifié, certaines réglementations locales pouvant exiger qu'un tel critère soit préalablement rempli avant l'ouverture de la plage à la baignade et à tout usage récréatif (voir les critères de Pavillon Bleu ci-dessous). Cependant, cette approche donne lieu à des difficultés considérables, notamment dans l'estimation du moment où les niveaux de concentration d'hydrocarbure spécifiés sont atteints dans la pratique durant les opérations de nettoyage nécessaires au traitement des impacts environnementaux ou l'entrave à l'utilisation du littoral à des fins récréatives. En outre, eu égard à l'extrême variation dans la distribution de l'hydrocarbure dans le sédiment, il est particulièrement difficile de prélever des échantillons représentatifs, cette approche pouvant être biaisée par la sélection d'échantillons de sédiments plus contaminés.

S'agissant des plages de baignade, le critère Pavillon bleu est largement accepté au niveau mondial. Le Pavillon bleu est un label volontaire décerné à plus de 3 850 plages et marinas dans 48 pays à travers l'Europe, l'Afrique du Sud, le Maroc, la Tunisie, la Nouvelle-Zélande, le Brésil, le Canada et les Caraïbes. Le niveau requis de propreté est évalué par rapport à un grand nombre de paramètres qui, en termes de pollution, sont les suivants :

1. Aucun film n'est visible à la surface de l'eau et aucune odeur n'est détectée. À terre, l'existence éventuelle d'hydrocarbure sur la plage fera l'objet d'un suivi alors que les plans d'urgence incluront les actions qui seront mises en place dans le cas d'une pollution de ce type.
2. Il n'y a aucun élément flottant comme des résidus de goudron, du bois, des articles en plastiques, des bouteilles, des récipients, du verre ou toute autre substance.

En Europe, les plages de baignade sont également régies par les dispositions de la Directive sur les eaux de baignade de la communauté (2006/7/EC) qui concerne principalement la surveillance systématique des polluants potentiels, y compris des hydrocarbures.

Opérations

Les principaux éléments opérationnels incluent : la délimitation du chantier ; l'évaluation et la gestion des risques ; le programme de travail ; la gestion des bénévoles ; la programmation des rapports et des briefings.

Après la définition des priorités et l'identification des segments, les chantiers peuvent être mis en place au sein de chaque segment. Un chantier peut couvrir un segment entier, ou le segment peut être sous-divisé en fonction de la technique de nettoyage qui sera appliquée, de l'accès requis pour l'équipement et de la nature du groupe travaillant sur le littoral. Chaque chantier sera attribué à une organisation ou une agence unique, une équipe au sein de cette organisation ou de cette agence, ou une entreprise spécifique, ce qui permet de définir précisément la portée des travaux sur le plan géographique et en termes de critères de validation. Par exemple, un segment peut inclure une longueur de littoral comprenant une plage de sable entrecoupée d'épis de roche ; le nettoyage manuel de la plage de sable peut constituer un chantier alors que les épis, qui seront nettoyés par lavage à haute pression, constitueront un autre chantier.

Avant le début des opérations, il convient d'évaluer les risques sur chaque chantier. Il s'agit d'identifier les risques spécifiques associés au lieu (comme les vagues puissantes, les chutes de pierre, les surfaces rocheuses glissantes, les effets de la chaleur ou du froid), les types d'équipement qui seront utilisés ou susceptibles d'être déplacés le long du littoral, ainsi que les types de matériels à utiliser, notamment s'ils comportent des agents chimiques. De tels risques peuvent être gérés via la tenue de briefings de sécurité quotidiens afin de s'assurer que le personnel est conscient des risques associés à l'environnement dans lequel il évolue. La gestion des risques consiste notamment à : s'assurer que le personnel prend des pauses régulières ; délimiter les zones afin de séparer les zones de circulation des véhicules des zones dans lesquelles évoluent les équipes de nettoyage manuel ; s'assurer que les EPI appropriés sont utilisés ; et informer le personnel sur chaque type spécifique d'agent chimique pouvant être utilisé. Il est important de s'assurer que le personnel n'introduit pas d'hydrocarbure dans les zones propres (« froides ») (par ex. : les zones de repos) afin de prévenir tout contact avec l'hydrocarbure ou l'ingestion de l'hydrocarbure via les aliments et les boissons. Des zones de décontamination (« tièdes ») doivent être mise en place au niveau des points d'accès pour permettre aux travailleurs de retirer les EPI contaminés avant de pénétrer dans les zones propres. Pour en savoir plus sur la santé et la sécurité du personnel de lutte contre les déversements d'hydrocarbures, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP traitant de ce sujet (IPIECA-IOGP, 2012).

À chaque technique de nettoyage correspond une taille optimale d'équipe, les chantiers pouvant être sous-divisés en conséquence, par exemple pour correspondre à la vitesse de travail prévue de l'équipe. Cette tactique favorise une approche méthodique dans le cadre de laquelle le littoral est nettoyé sur sa longueur à une vitesse exprimée en mètres par jour, permettant ainsi un suivi aisé des progrès et facilitant la planification et l'organisation logistique pour les jours suivants. Ceci permet d'éviter le mouvement aléatoire des intervenants sur le littoral et de réduire le risque de pollution secondaire résultant de l'introduction de l'hydrocarbure dans les zones propres. En outre, elle permet de s'assurer que le nettoyage est cohérent tout au long du littoral et qu'aucune zone n'a été omise.

L'exemple décrit dans l'encadré 1 illustre la mise en œuvre d'estimations simples dans le cadre de la planification initiale. Par exemple, dans le cas où seules des pelleteuses présentant une capacité de 2 m³ seraient utilisées, 150 m³ de déchets d'hydrocarbure représente plus de 75 (environ 80) déplacements de pelleteuses. Avec deux machines travaillant sur deux jours, chaque machine devra

Encadré 1 Exemple de facteurs de planification initiale relatifs à la taille optimale des équipes de nettoyage

Dans le cadre de la planification initiale des effectifs, les règles générales décrites dans la Section 1 peuvent être appliquées. À titre d'illustration, une plage de sable de 2 kilomètres de long a été définie comme site de nettoyage prioritaire et l'équipe SCAT fait état de la présence d'un hydrocarbure frais échoué avec une distribution fragmentée sur une bande d'environ 5 mètres de largeur. Ceci a permis d'estimer la quantité d'hydrocarbure de la façon suivante :

$$2,000 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times \frac{5}{1000} \text{ m (distribution = 1-10 mm d'épaisseur)} \times 30\% \text{ (fragmentation = 10-50\%)}$$

ou $\sim 15 \text{ m}^3$ d'hydrocarbure.

L'expérience a montré que, durant un accident, la récupération manuelle génère une concentration de 5 à 10 % d'hydrocarbure dans les déchets collectés. Cependant, durant les stades précoces de l'opération de nettoyage (comme dans le scénario ci-dessus), la sélectivité de la récupération manuelle devrait générer des concentrations d'hydrocarbure situées dans la tranche supérieure de l'intervalle mentionné, voire supérieures. Ensemble, l'hydrocarbure et le sable pourraient générer environ 150 m^3 de déchets contaminés devant être collectés. À des fins de planification, en sachant que chaque personne devrait collecter environ 1 à 2 m^3 par jour, ceci devrait représenter 75 à 150 jours/hommes. Cinq équipes de dix personnes et de deux pelleteuses (pour transporter les matériaux collectés hors de la plage) devraient être suffisantes pour collecter ces matériaux en deux ou trois jours, en fonction de la répartition de l'hydrocarbure, des caractéristiques de la plage et de la distance jusqu'au site de stockage temporaire.

effectuer 20 déplacements par jour. Durant une journée de huit heures de travail, ceci équivaut à un déplacement toutes les 24 minutes. En fonction de la configuration du chantier, une telle estimation est susceptible d'aider à la prise de décision sur le nombre approprié de machines. Théoriquement, 100 agents de nettoyages déployés au sein de 10 équipes devraient être en mesure de nettoyer la plage plus rapidement, cependant (a) il est plus difficile de coordonner 10 équipes que cinq équipes, (b) un nombre plus important de pelleteuses sera requis et (c) la taille de l'espace de travail devra également être prise en compte – dans ce cas, chacun des 100 agents évoluera sur une bande de la plage de sable de seulement 20 mètres de long. (Cette exigence en matière d'espace de travail constitue un facteur important dans le cadre de la collecte mécanique au moyen de machines lourdes mais aussi dans l'utilisation de dispositifs de lavage à haute pression).

Le nombre optimal d'agents composant une équipe de nettoyage manuel s'élève en principe entre 5 et 7 personnes ; chaque équipe est pilotée par un chef d'équipe. La taille sélectionnée peut être appliquée à plusieurs équipes, les chefs d'équipe étant placés sous l'autorité du superviseur du chantier ou du responsable de la plage. Au fil de la progression des opérations sur le littoral et au fur et à mesure que les tâches deviennent plus routinières, le nombre d'agents que chaque chef d'équipe peut gérer de manière efficace peut augmenter selon un ratio supérieur à celui initialement prévu de 10 travailleurs par chef d'équipe. Dans le cadre du lavage à haute pression, des petites équipes composées de deux ou trois personnes sont requises pour assurer le bon fonctionnement des équipements, les activités de chaque équipe étant coordonnées par un superviseur de chantier. Comme pour le nettoyage manuel, il peut être utile de délimiter la zone de travail pour chaque équipe afin de promouvoir une approche méthodique.

De manière générale, il est plus efficace de commencer avec un petit nombre d'équipes, de configurer le chantier de manière appropriée et mettre en place un soutien logistique, puis de suivre les progrès des équipes déployées. Une nouvelle évaluation des travaux supplémentaires nécessaires peut alors être réalisée et une décision prise sur la nécessité de modifier la taille des équipes, en l'augmentant ou en la diminuant.

Que des agents de nettoyage professionnels ou des bénévoles soient déployés, les mêmes considérations sont applicables, bien que le rendement des bénévoles soit susceptible d'être inférieur

en raison de leur manque d'expérience et de l'absence de formation. Les agents professionnels de nettoyage sont généralement plus facilement gérables dans la mesure où ils sont plus disciplinés, ils suivent les instructions et demeurent impliqués tout au long de la lutte ; d'un autre côté, les bénévoles, n'ont pas les mêmes motivations et peuvent être enclins à suivre leurs propres impératifs. Eu égard à ces enjeux et autres questions possibles, comme la nécessité de mettre à disposition des équipements de transport, des hébergements, de la nourriture et des soins médicaux d'urgence supplémentaires, il est possible que les équipes de gestion ne préfèrent pas recourir aux services de bénévoles et de se prémunir contre les actions en responsabilité potentielles en cas de blessure d'un bénévole luttant contre le déversement. Cependant, la forte médiatisation accompagnant tout déversement d'envergure attire souvent un grand nombre de bénévoles sur la zone touchée. En conséquence, les pressions politiques devraient mener à l'intégration de bénévoles aux efforts de lutte. Une gestion diligente de ces enjeux est nécessaire afin que les bonnes intentions des bénévoles puissent être mises à profit et que leur intégration aux opérations de lutte ne perturbe pas les opérations de nettoyage.

Il est dès lors essentiel que la contribution des bénévoles soit contrôlée depuis le début via la gestion de l'arrivée des bénévoles, nécessitant leur inscription auprès de l'organisation de lutte (voir l'exemple de formulaire d'inscription de bénévoles en annexe 1, à la page 63). L'inscription est également l'occasion d'évaluer si les bénévoles montrent des compétences spécifiques pouvant être mises à profit, comme une expertise médicale, vétérinaire ou logistique ou si une formation de base est requise. Les bénévoles non qualifiés devront suivre une formation opérationnelle et une formation en matière de sécurité afin de pouvoir être utilisés de manière efficace et de s'assurer qu'ils sont conscients des enjeux de sécurité soulevés par les activités mises en œuvre sur le littoral. Idéalement, les bénévoles non qualifiés ne participeront pas aux activités avant la deuxième phase des opérations de nettoyage, c'est-à-dire après que l'hydrocarbure en vrac ait été éliminé. Les bénévoles peuvent également être mobilisés à d'autres positions, comme le soutien logistique aux bénévoles, l'organisation des repas et des hébergements, ou, s'ils disposent des qualifications appropriées, l'appui aux tâches administratives au sein de l'organisation de lutte.

La mise en place d'une chaîne précise de commandement revêt une grande importance afin d'assurer une supervision appropriée de l'ensemble du personnel travaillant sur le littoral, notamment dans le cas de bénévoles, afin d'éviter la communication d'instructions divergentes et toute ambiguïté sur qui est en charge de l'attribution des tâches. Les superviseurs du chantier doivent s'assurer que les bénévoles demeurent motivés et concentrés sur les tâches attribuées et doivent garantir leur sécurité, qu'ils évoluent au sein d'un groupe spécifique ou au sein d'une équipe composée d'intervenants professionnels. Des registres quotidiens des chantiers sur lesquels évoluent les intervenants ainsi que sur les activités mises en œuvre seront tenus.

Les intervenants professionnels tout comme les bénévoles devraient être tenus d'assister à des briefings au début et à la fin de chaque journée de travail. Les briefings du matin incluent un briefing en matière de sécurité spécifique au site, des informations sur les procédures à suivre en cas d'accident, un aperçu des activités à mettre en œuvre durant la journée et l'attribution individuelles des tâches au sein du chantier. Lors de la réunion du soir, les progrès réalisés pendant la journée sont passés en revue, les problèmes rencontrés font l'objet de discussions et des suggestions sont faites afin d'améliorer les pratiques de travail. Le superviseur du site peut alors faire état des progrès et de tout problème logistique à l'équipe de gestion, afin d'assurer l'organisation du personnel, de l'équipement, du matériel, de l'évacuation des déchets et du soutien logistique pour les jours suivants (voir l'Annexe 2 à la page 64).

Clôture

Les principaux éléments comprennent : la fermeture des chantiers ; la restauration.

Pour fermer un chantier, il est nécessaire de parvenir à un consensus constatant que les critères de validation convenus ont été atteints et que les opérations de nettoyage peuvent cesser. La phase finale de cessation des opérations de nettoyage du littoral consiste en la restauration des chantiers. Chaque site est inspecté afin de s'assurer que les ordures accumulées pendant le travail, comme les emballages des produits alimentaires, les EPI jetés, les articles en plastique, les sacs etc... sont collectés et éliminés de façon appropriée et que, dans la mesure du possible, les sites de stockage temporaires et les points d'accès sont remis dans leur état antérieur au déversement. Cela peut impliquer la mise en œuvre d'activités de nivellement, de réensemencement, de replantage dans les chantiers dans lesquels la circulation a généré un impact sur la végétation, le rétablissement des habitats endommagés à la suite de la mise en place de routes d'accès ainsi que la réalisation de travaux de réhabilitation sur le réseau routier local afin de réparer les dommages causés par les véhicules lourds.

Section 3 : Les techniques de nettoyage du littoral

Les techniques défensive/passives de nettoyage

Collecte des débris

Une des façons les plus efficaces de réduire les efforts requis pour nettoyer un littoral et la quantité de déchets souillés destinés à être éliminés consiste à collecter les débris du littoral ou de la trajectoire de l'hydrocarbure avant qu'ils ne parviennent sur le littoral afin d'éviter la contamination des débris. Il peut s'agir de débris accumulés au sein de points naturels d'accumulation, d'algues déposées à la suite des tempêtes hivernales, ou même de troncs d'arbres. Dans certaines situations, les débris naturels volumineux stabilisent le littoral si bien que leur élimination à grande échelle pourrait entraîner son érosion. En outre, les algues échouées constituent une source précieuse de substances nutritives pour les écosystèmes du littoral. Afin de prendre ces éléments en compte, une évaluation des bénéfices écologiques nets sera mise en œuvre pour déterminer si, tout bien considéré, l'élimination constitue la meilleure option.

Les zones dans lesquelles l'hydrocarbure s'échouera le plus vraisemblablement correspondent généralement aux points naturels d'accumulation des déchets. Ces zones doivent être identifiées comme prioritaires en vue de la collecte de débris avant l'échouement (également appelée collecte des débris avant impact). Les observations aériennes du déplacement de l'hydrocarbure et la modélisation de sa trajectoire peuvent également fournir une indication sur les lieux où la menace d'échouement de l'hydrocarbure est imminente. En disposant de suffisamment de temps, le nettoyage des débris situés sur la plage avant la contamination peut également permettre d'acheminer les déchets collectés vers des installations de traitement des déchets non dangereux, en fonction de la réglementation locale.

Ci-dessous : le littoral avant et après la collecte des débris avant l'impact



ITOPF



ITOPF

Le nettoyage passif — « le nettoyage naturel »

Bien que le terme « nettoyage passif » soit parfois utilisé pour désigner la mise en place de dispositifs d'absorbants pour collecter les suintements d'hydrocarbure depuis le littoral, la technique de nettoyage passif la plus fréquemment utilisée est le « nettoyage naturel ». Une fois que l'hydrocarbure mobile a été soit récupéré soit remobilisé dans une autre zone, les processus primaires débouchant sur l'élimination naturelle de l'hydrocarbure subsistant sur le littoral sont la biodégradation, la photo-oxydation, l'abrasion, l'agrégation hydrocarbure - minéraux (également appelée floculation argile-hydrocarbure) et la dispersion. La biodégradation et la photo-oxydation agissent généralement relativement lentement en termes d'élimination de l'hydrocarbure du littoral, les processus les plus importants à court terme étant l'abrasion, la formation d'agrégats hydrocarbure/minéraux (OMA pour oil/mineral aggregates en anglais) et leur dispersion à travers la colonne d'eau. L'abrasion désigne le grattage mécanique de la surface par les galets et les particules de sables transportés par les vagues déferlant sur le littoral. Les OMA sont formés par l'interaction des gouttelettes d'hydrocarbure dispersées et les petites particules minérales pour former des agglomérats flottant neutres qui se dispersent sur une large surface pour se loger éventuellement dans le sédiment et/ou se désagréger dans le cadre du processus de biodégradation.

Les principales applications

- Les caps rocheux exposés, ainsi que les littoraux exposés à l'activité des vagues mais dont l'accès est difficile ou dangereux ou dont la plus-value en termes de loisirs, de divertissements ou d'esthétisme n'a pas une importance primordiale.
- Les zones humides dans lesquelles une évaluation des risques menaçant l'habitat à la suite des opérations de nettoyage (par exemple, les dommages aux racines des plantes et la compression des substrats fragiles à la suite du piétinement) ont permis d'identifier un risque moindre de dommages dans le cas où le traitement de l'hydrocarbure s'appuierait sur les processus naturels de nettoyage et la biodégradation.

Présentation de la méthode

- Établir des transects le long du littoral qui sont périodiquement surveillés afin d'évaluer la vitesse de l'élimination naturelle de l'hydrocarbure.
- Dans le cas des littoraux rocheux exposés, surveiller les effets du vent, des vagues et de la météorologie.
- Dans le cas des zones humides, surveiller l'impact de l'hydrocarbure et la régénération subséquente en cas de demande d'intervention, notamment au cas où l'arrivée d'oiseaux ou d'autres animaux migrateurs est prévue.

Chronologie

Le nettoyage passif ou naturel est généralement applicable aux littoraux légèrement souillés ou durant la deuxième et la troisième phase de l'opération de nettoyage (voir le tableau 1 à la page 11).

Sur les côtes rocheuses, une couche résiduelle noire d'hydrocarbure vieillira et se dégradera naturellement, pour s'estomper et, après deux ou trois cycles saisonniers, deviendra de moins en moins visible. Dans les zones humides, l'hydrocarbure, en fonction de ses caractéristiques, est susceptible d'être incorporé au sédiment et de se dégrader très lentement.

Avantages et inconvénients

- ✓ S'appuie sur des processus naturels de nettoyage.
- ✓ Les exigences en termes de travail et d'équipement sont très faibles.
- ✓ Faible impact biologique sur les côtes rocheuses, l'impact pouvant varier sur les zones humides.
- ✗ Nécessite l'élimination des hydrocarbures mobiles en vrac sans quoi il existerait un risque de remobilisation et de déplacement de ces hydrocarbures vers d'autres zones.
- ✗ L'hydrocarbure résiduel est susceptible de générer des impacts biologiques chroniques.

ÉTUDE DE CAS 1 : Exemples de techniques défensives visant à réduire les dommages générés par un déversement d'hydrocarbure

Sergo Zakariadze, San Juan, Puerto Rico, 1999

En novembre 1999, le *Sergo Zakariadze*, un cimentier, s'est échoué au pied d'El Morro, un fort historique, à l'entrée du port de San Juan. Des dispositifs de lutte contre le déversement ont été mis en place parallèlement aux opérations de sauvetage, incluant un exemple de technique défensive impliquant l'enveloppement de la cible dans un film de polythène ou des matériaux en géotextile. Cette approche a été utilisée afin de protéger une autre fort historique, El Cañuelo, figurant sur la liste du patrimoine culturel de l'UNESCO, alors menacé par le déversement du carburant de soute risquant de dériver sous l'action des vents. Si l'hydrocarbure avait été perdu par le navire, balayé par le vent et déposé sous l'action des vagues déferlantes sur le littoral, il aurait pu entraîner la coloration des murs de gré du fort. L'expérience acquise dans le cadre d'un accident antérieur similaire a montré que l'élimination des tâches d'hydrocarbures aurait nécessité le recours à des techniques agressives de nettoyage, impliquant des dommages à la structure du monument historique. Le film de polythène a été posé en bandes verticales autour des sections du bâtiment orientées vers la mer et maintenu en place grâce à des sacs de sable, en haut et en bas.



À gauche : un des forts du Vieux San Juan, un site national historique placé sous l'autorité du service des Parcs nationaux des États-Unis, partie intégrante du ministère de l'Intérieur des États-Unis.

ITOPF

La bioremédiation

Chaque littoral possède des microorganismes naturels dégradant les hydrocarbures qui jouent un rôle significatif dans l'élimination de l'hydrocarbure à long terme. La vitesse de biodégradation naturelle, dans le cadre de laquelle l'hydrocarbure est converti en dioxyde de carbone et en eau, peut varier de quelques jours à plusieurs années, en fonction de nombreux facteurs et notamment :

- du type et de la quantité d'hydrocarbure ;
- du type de littoral ;
- de la disponibilité des éléments nutritifs et de l'oxygène ;
- du niveau de lavage par les eaux sous l'action des marées et des vagues ; et
- du climat et des facteurs météorologique saisonniers.

La bioremédiation n'est pas une technique passive à strictement parler, mais est présentée ainsi dans la présente section car en principe il s'agit du prolongement du nettoyage naturel via le renforcement de la biodégradation naturelle.

Les substances nutritives qui incluent l'azote, le phosphate et le fer sont essentielles dans le cadre de tout processus biologique, et les hydrocarbures bruts présentent une carence naturelle de ces trois substances nutritives majeures. En outre de nombreux écosystèmes marins – mais pas tous – sont naturellement pauvres en substances nutritives. Ainsi, lorsqu'un déversement d'hydrocarbure entraîne une augmentation soudaine des aliments disponibles (hydrocarbures pétroliers), il est possible que la quantité des substances nutritives dans l'eau ne soit pas suffisante pour soutenir la croissance microbienne. L'ajout de substances nutritives (« bio-stimulation ») afin de remédier à cette limitation est susceptible de renforcer la biodégradation, diverses stratégies (comme les produits granulés à libération lente) ont été mises en œuvre sur les littoraux de galets et de blocs afin de fournir des substances nutritives supplémentaires sous une forme appropriée. Bien que la bioremédiation puisse accélérer le processus, il est improbable que le rythme caractérisant les méthodes de nettoyage physique soit égalé.

Les microbes qui peuvent dégrader les composés de l'hydrocarbure sont omniprésents ; en outre, il existe peu d'éléments démontrant que la bioaugmentation (l'ajout de microbes) renforce de manière significative la vitesse ou la portée de la biodégradation de l'hydrocarbure sur les littoraux maritimes.

La communauté indigène de microorganismes sera adaptée à la région littorale en question. Les molécules d'hydrocarbures les plus grandes et les plus complexes sont les plus résistantes aux attaques microbiennes ; elles sont susceptibles de persister pendant des périodes plus longues, principalement sous la forme de résidus inertes sur le plan biologique.

Eu égard à l'ensemble des facteurs présentés ci-dessus, il est évident que la bioremédiation ne constitue que très rarement une technique efficace de nettoyage des contaminations massives ou modérées. Si elle était toutefois adoptée, son application serait vraisemblablement limitée à la phase trois des opérations de nettoyage.

Avantages et inconvénients

- ✓ Dans des conditions contrôlées, elle est susceptible d'accélérer le processus de biodégradation sur les littoraux de galets ou de blocs, lorsque la quantité de substances nutritives est limitée.
- ✓ Un impact environnemental moindre comparé aux autres techniques de nettoyage de la deuxième et troisième phase.
- ✗ Elle requiert un mécanisme de libération lent et génère un risque de dilution sur les côtes tidales.
- ✗ Elle constitue un processus relativement lent d'élimination des hydrocarbures.

Les absorbants utilisés en mode passif

Les absorbants sont des matériaux artificiels ou naturels qui s'emprennent d'hydrocarbure plutôt que d'eau. Pour en savoir plus sur les types d'absorbants, consultez la section sur la récupération des hydrocarbures flottants (pages 31 – 32).

Les principales applications

- Des dispositifs d'absorbants peuvent être utilisés pour récupérer les hydrocarbures s'écoulant des enrochements ou les autres défenses côtières, ou le long des mangroves ou des zones humides tempérées.
- Des filets d'absorbants sont utilisés pour collecter l'hydrocarbure relâché depuis un certain nombre de littoraux, des plages de sable grossier aux littoraux rocheux.

Présentation de la méthode

Des absorbants en filaments (de type pom-poms) sont attachés le long d'une corde qui est ancrée de telle façon qu'ils peuvent bouger librement pendant la marée, et capturent l'hydrocarbure libéré par le cycle des marées ou le mouvement des eaux provoqué par les vents. L'application est plus efficace en présence d'un hydrocarbure visqueux, bien que des barrages absorbants puissent remplacer les pom-poms dans le cas d'hydrocarbures plus légers. Pour demeurer efficaces, les matériaux absorbants doivent être changés dès qu'ils sont saturés en hydrocarbure. Les fixations doivent être vérifiées régulièrement afin de s'assurer qu'elles restent sécurisées et que les franges des filets n'a pas été recouvert pas les matériaux de la plage.

Chronologie

La technique est utilisée pour récupérer des quantités relativement modérées d'hydrocarbure mobile (deuxième et troisième phases de nettoyage) et d'hydrocarbures générés par le lavage ou le surf washing (voir ci-après dans la présente section).

Critère de validation recommandé

Le critère de validation est atteint lorsque le rejet d'hydrocarbure depuis le littoral s'amenuise. Dans le cas où la poursuite des opérations de nettoyage du littoral serait exigée, des techniques actives alternatives devront être considérées.

Avantages et inconvénients

- ✓ S'appuie sur les mouvements naturels de l'eau.
- ✓ Méthode peu fastidieuse – les matériaux absorbants doivent être changés lorsqu'ils sont saturés.
- ✓ Faible impact biologique.
- ✗ Le critère de validation est atteint même si des résidus ou des couches d'hydrocarbures demeurent en surface et, en fonction des lieux, un traitement postérieur pourrait être requis ou l'hydrocarbure sera abandonné au processus de nettoyage naturel.
- ✗ Les absorbants utilisés en mode passif ne retiennent pas très bien les hydrocarbures peu visqueux.
- ✗ Les dispositifs de pom-poms attachés avec des cordes et déployés dans les zones humides peuvent être difficiles à récupérer si laissés en place trop longtemps, dans la mesure où ils peuvent s'emmêler avec la végétation.
- ✗ Les absorbants usés doivent être éliminés selon une procédure spécifique.

Les techniques actives de nettoyage

La récupération de l'hydrocarbure flottant

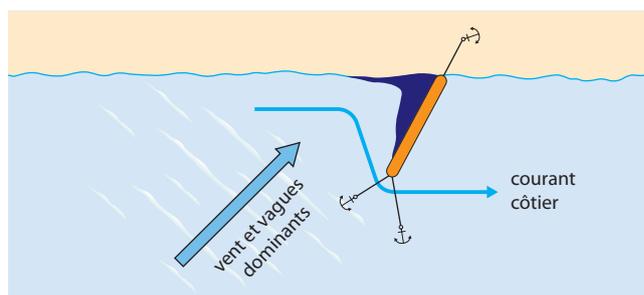
L'hydrocarbure échoué sur le littoral peut être remobilisé sous l'action des marées et des conditions météorologiques. Il convient de prendre en considération les techniques visant à récupérer de tels hydrocarbures mobiles, tout particulièrement présents durant la deuxième et la troisième phase des opérations de nettoyage.

Les principales applications

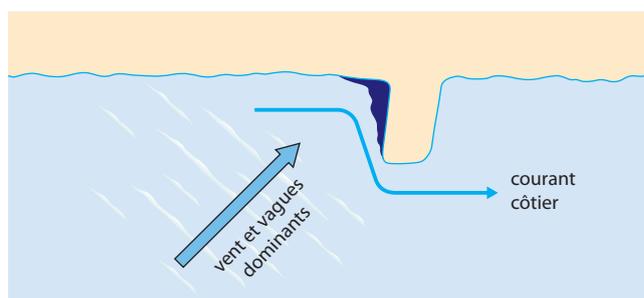
- Un hydrocarbure flottant déposé sur le littoral par le vent ou confiné à l'aide d'un barrage flottant.
- Les points d'accumulation des hydrocarbures, qui offrent l'opportunité de récupérer l'hydrocarbure en mouvement en ayant recours à plusieurs méthodes, et notamment :
 - Points d'accumulation-la dérive côtière : ceci désigne en principe le transport du sédiment le long de la côte à la suite du déferlement oblique des vagues sur le littoral, un transport similaire de sédiment pouvant également survenir sous l'action d'un courant littoral. Les vents dominants du large génèrent des courants de surface en direction de la côte ; comme le vent souffle rarement vers la côte à angle droit, l'eau sera déviée le long du littoral. L'hydrocarbure déversé suit le courant côtier, pour s'échouer dans les points d'accumulation, où les débris flottants s'entassent également. À défaut de points naturels d'accumulation, un point d'accumulation peut être créé en plaçant un barrage flottant se projetant dans la mer, selon un angle aiguë par rapport au courant côtier, ou en prélevant les matériaux de la plage pour construire un promontoire temporaire robuste (figure 6). La technique est applicable seulement en conditions de brise légère et de mer peu agitée (c'est-à-dire à des hauteurs de vagues entre 0,5 et 1,25 m) dans la mesure où, en présence de vents plus puissants et d'une mer agitée, les vagues déferlantes sont susceptibles de perturber la récupération de l'hydrocarbure depuis les points d'accumulation et pourraient endommager les barrages flottants.
 - Points d'accumulation – les barrages de plage : ils peuvent être utilisés sur les plages de sable ou de galets dans les eaux sans marnage, ou lorsque le marnage est faible et que la zone est traversée par des vents dominants soufflant sur les côtes ou des vents diurnes côtiers ou du large. Une tranchée est creusée sur la partie supérieure de la plage, nivelée selon le niveau de la ligne des hautes eaux et, lorsque le niveau de l'eau monte, sous l'effet des vents côtiers, l'hydrocarbure flottant au bord de l'eau se déverse dans la tranchée depuis laquelle elle peut être pompée aux fins de stockage. Dans certaines plages faiblement agitées présentant un marnage faible, il peut être possible d'étendre les tranchées jusqu'à la zone intertidale intermédiaire. Il convient de noter que les altérations artificielles à la géomorphologie de la plage sont susceptibles d'avoir un impact à court terme sur les littoraux actifs, le bénéfice écologique net d'une telle perturbation devant faire l'objet d'une évaluation complète.

Figure 6 Création de points d'accumulation sur le littoral, en fonction de la dérive littorale

(a) Positionnement d'un barrage flottant ancré



(b) Construction d'un promontoire temporaire robuste



Présentation de la méthode

- **Pompes** : dans les eaux calmes permettant l'accès des véhicules au littoral, comme dans un port, l'hydrocarbure peut être pompé directement depuis la zone de confinement vers des réservoirs de stockage temporaire ou dans un camion-citerne, un camion hydrocureurs ou une tonne à lisier. Le type de pompe sélectionnée dépendra de la viscosité de l'hydrocarbure, des pompes volumétriques étant requises pour transférer les hydrocarbures les plus visqueux et émulsionnés. De nombreux camions hydrocureurs ou de tonnes à lisier sont dotés d'une porte arrière à ouverture intégrale afin de permettre le déchargement des hydrocarbures très visqueux ; si l'hydrocarbure était transféré directement avec un camion-citerne n'étant pas équipé d'une porte arrière, il convient de prêter une attention particulière afin de s'assurer que l'hydrocarbure n'est pas trop visqueux pour être déchargé facilement. Certaines tonnes à lisier s'appuient sur des pompes centrifuges afin de remplir le réservoir ; il est important de noter que ces dernières sont peu efficaces avec des hydrocarbures visqueux ou émulsifiés. Les camions hydrocureurs varient en puissance d'aspiration, de ceux utilisés pour vider les fosses septiques aux camions hydrocureurs industriels proposant une puissance d'aspiration bien plus importante.

Les hydrocarbures dont les points d'écoulement sont élevés (c'est-à-dire un point d'écoulement supérieur aux températures ambiantes ou à la température de la mer) et présentant donc un état semi-solide, ou les hydrocarbures qui sont très émulsifiés et ne peuvent être pompés, peuvent parfois être récupérés à l'aide d'un godet d'excavatrice à condition que la zone soit accessible par un tel équipement. Les hydrocarbures émulsifiés sont susceptibles de se coller à l'intérieur du godet, ce qui rend difficile le vidage.

Dans tous les cas, l'hydrocarbure directement transféré depuis la surface de l'eau est susceptible d'être associé à certaines eaux libres qui, après avoir été déversées dans le réservoir de réception, peuvent être décantées. En fonction de la réglementation locale, il peut être possible de déverser l'eau décantée en mer, ou elle peut nécessiter un traitement séparé avant son retour dans l'environnement.

- **Les récupérateurs** : dans les mers légèrement agitées, il peut être difficile de pomper toute la quantité d'hydrocarbure vers un camion-citerne directement à l'aide d'un tuyau, aussi, les arrimages flottants peuvent améliorer la récupération. Dans des eaux suffisamment profondes, des récupérateurs de petite ou moyenne taille, de conceptions différentes peuvent être utilisés au bord de l'eau pour récupérer l'hydrocarbure et le pomper depuis les côtes. (Voir le Guide de bonnes pratiques sur le confinement et la récupération en mer (IPIECA- IOGP, 2015b)). Les récupérateurs attachés avec une corde ne sont pas limités par la profondeur des eaux et peuvent être utilisés même en eaux peu profondes à condition que le dispositif de fixation de la corde et que le système de poulie associé puissent être mis en place.
- **Collecte manuel depuis les bateaux** : en mers calmes à légèrement agitées, des bateaux à faible tirant d'eau peuvent être utilisés pour collecter l'hydrocarbure si l'accès au littoral par la terre est difficile. L'hydrocarbure peut être ramassé manuellement à la surface de l'eau dans des futs de 200 litres ou, s'agissant des hydrocarbures visqueux, dans de « grands sacs » de 1 m³ ou des « big-bags ». Les pelles utilisées pour collecter les hydrocarbures plus visqueux peuvent être fabriquées à base de maille métallique ou d'un métal perforé afin de permettre l'écoulement de l'eau tout en retenant l'hydrocarbure (voir la photographie ci-dessous).

Collecte d'hydrocarbure à la surface de l'eau à l'aide de pelles



ITOPF

- Absorbants : dans le cas où les véhicules n'auraient pas accès au site, il est toujours possible de collecter l'hydrocarbure flottant depuis la côte à l'aide de matériaux absorbants, il peut s'agir de matériaux propriétaires ainsi que des matériaux existants dans la nature comme la bagasse (déchets fibreux provenant de la transformation de la canne à sucre) et la paille. Cependant, il convient de noter que la végétation sèche, comme la paille, ne fournit pas de matériaux absorbants efficaces dans la mesure où ils deviennent rapidement saturés d'eau et doivent dès lors être collectés très rapidement après leur application. Les absorbants recouverts d'hydrocarbure peuvent être mis en sac puis transportés vers un site de stockage temporaire. De manière générale, l'utilisation à grande échelle des absorbants sur le littoral n'est pas recommandée dans la mesure où elle génère des quantités supplémentaires de déchets qui devront être transportés et éliminés. Cependant, à défaut d'autres méthodes viables de collecte des hydrocarbures flottant, il peut s'agir d'une solution à envisager.

Chronologie

La technique est utilisée pour récupérer l'hydrocarbure mobile durant la première phase de la lutte.

Critère de validation recommandé

Le critère de validation est atteint lorsqu'aucune quantité significative d'hydrocarbure flottant ne subsiste, c'est-à-dire lorsqu'aucun hydrocarbure n'est récupérable.

Avantages et inconvénients

- ✓ Élimination de l'hydrocarbure en vrac flottant.
- ✓ Faible impact biologique.
- ✗ Le critère de validation est atteint même si des résidus ou des couches d'hydrocarbures demeurent en surfaces ; en fonction des lieux, un traitement postérieur pourrait être requis ou l'hydrocarbure pourrait être abandonné au processus de nettoyage naturel.
- ✗ L'utilisation des absorbants en vue de la collecte des hydrocarbures en vrac génère des quantités supplémentaires de déchets qui devront être transportés et éliminés.

Creusement de tranchée

Principale application

- Hydrocarbure mobile échoué sur les plages d'eaux peu profondes en pente ou sur les littoraux soumis aux marées.

Présentation de la méthode

- Les tranchées creusées par une excavatrice le long de la pente de la plage, parallèlement au bord de l'eau, peuvent constituer des points d'accumulation en vue de la récupération de l'hydrocarbure sous forme liquide. L'hydrocarbure en surface est poussé dans la tranchée, soit manuellement à l'aide d'un racloir (une lame en caoutchouc lisse et flexible attachée à un manche à balai), soit en lavant l'hydrocarbure de la plage au moyen d'importantes quantités d'eau sous faible pression. Une fois confinés dans la tranchée, l'hydrocarbure (et l'eau) peuvent être pompés dans des tonnes à lisier ou des réservoirs de stockage temporaires ou récupérés par des camions de pompage. Dans la mesure du possible, la quantité d'eau récupérée avec l'hydrocarbure sera réduite, par exemple en utilisant des têtes d'écumage.
- Bien que des tranchées aient été utilisées avec succès sur des plages de sable compact ou de galets soumises aux marées, elles ont tendance à être comblées à chaque marée haute et il peut être nécessaire d'avoir à les rouvrir à la marée basse suivante.

Utilisation de tranchée aux fins de récupération de l'hydrocarbure



ITOPF

Chronologie

Cette technique est utilisée pour la récupération des hydrocarbures échoués sous forme liquide durant la première phase de la lutte.

Critère de validation recommandé

Avec le temps, cette technique mènera à de moins en moins d'hydrocarbure récupérable. Le critère de validation est atteint lorsque les quantités d'hydrocarbure liquide récupéré ne sont plus significatives, c'est à dire et quand il n'y a plus d'hydrocarbure récupérable.

Avantages et inconvénients

- ✓ Élimination de l'hydrocarbure liquide échoué.
- ✓ Faible impact biologique.
- ✗ Le critère de validation est atteint même si des résidus d'hydrocarbures demeurent en surfaces ; en fonction des lieux, un traitement postérieur pourrait être requis ou l'hydrocarbure sera abandonné au processus de nettoyage naturel.
- ✗ Si les tranchées ne sont pas revêtues, l'hydrocarbure risque de pénétrer les parois et un créer un problème de contamination du sous-sol.
- ✗ En l'absence d'un balisage soigneux et d'une bonne consignation de la localisation, les tranchées pourraient être difficile à retrouver après coup. Les tranchées non nettoyées pourraient devenir une source sporadique et imprévisible de contamination par l'hydrocarbure après le déversement.

Récupération manuelle de l'hydrocarbure échoué**Principale application**

- Les hydrocarbures non liquides échoués et les matériaux des plages contaminés (sable et galets) sur tout littoral accessible à pied.

Présentation de la méthode

- L'hydrocarbure échoué et le substrat contaminé peuvent être éliminés à l'aide de plusieurs outils, en fonction du type de littoral et de la texture du matériau à récupérer. Il pourra s'agir de truelles, de grattoirs, de râtaux, de pelles, de chiffons ou d'absorbants. L'hydrocarbure récupéré est généralement placé dans des sacs en plastique très résistants (par ex. > 400 gauges/100 µm d'épaisseur), de sacs pour débris ou de sacs d'engrais, ou de sacs tissés en polypropylène, tels que ceux utilisés pour l'emballage du sucre et du riz. Les sacs en plastique moins résistants se détériorent rapidement à la lumière du soleil et constituent une source potentielle de pollution secondaire. Les sacs les plus adaptés sont ceux présentant une capacité nominale de 25 kg ; ils ne doivent pas être remplis à plus de $\frac{3}{4}$ de leur capacité, soit un poids d'environ 15 kg, afin de garantir une manipulation simple et éviter les débordements.
- Si des machines évoluent sur le littoral, les déchets collectés peuvent être déversés directement dans le godet de la pelleteuse en vue du transfert vers la zone de stockage de matériel.
- Sur les plages de sable, durant les premières étapes du nettoyage, lorsque la contamination apparente est en train d'être collectée, des pelles seront utilisées ; lorsque la fin des opérations se rapprochera, les râtaux seront privilégiés aux pelles.
- Au contraire, sur les côtes rocheuses et les côtes de galets, non accessibles aux véhicules et ne pouvant être nettoyées en recourant au lavage à haute pression, le lavage manuel et l'utilisation de truelles pourrait être le seul moyen de nettoyage. La méthode requiert beaucoup de travail et demeure très lente ; cependant, elle peut être appropriée dans certaines circonstances, notamment lorsque la main d'œuvre est abondante.
- Dans le cas où l'hydrocarbure devrait être collecté manuellement dans des zones humides vulnérables, qu'elles soient tempérées ou tropicales, ou bien dans des marais salants ou des mangroves, il convient d'examiner le bien-fondé du recours aux interventions physiques. Si la décision de collecter l'hydrocarbure est prise, une supervision étroite du personnel et des précautions telles que l'utilisation de caillebotis sont requises afin d'éviter la détérioration de la végétation résultant d'un piétinement excessif.

- Les déchets souillés doivent être consolidés au sein d'une zone de stockage de matériel, dans la partie supérieure du littoral et bien au-dessus de la ligne des eaux hautes afin d'éviter que les sacs soient emportés avant d'avoir été collectés. Le matériel collecté peut être en vrac, emballé dans des sacs ou placé dans des sacs en vrac (capacité d'environ 1 m³, également appelé « sacs jumbo » ou « big-bags », entre autres), ou chargés dans des bennes à ordures. Dans tous les cas, la zone de stockage de matériel doit être préparée au moyen d'un film de polythène ou un talus afin que l'hydrocarbure puisse être confiné en cas de déversement des matériaux collectés ou de fuite des sacs et autres récipients. Dans la mesure du possible, le site sélectionné devra être accessible aux véhicules routiers afin de permettre aux déchets d'être enlevés et transportés aux fins d'élimination ou évacués vers le site de stockage temporaire.
- Plusieurs situations peuvent empêcher l'accès des véhicules pour la récupération des déchets sur les zones de stockage de matériel, y compris, par exemple, les hydrocarbures collectés dans les baies rocheuses, au pied de falaises ou le long de littoraux vulnérables comme des dunes de sable où la circulation des véhicules est interdite ; dans ce cas, des moyens alternatifs de transfert des déchets ensachés seront nécessaires. Pour remédier à de telles situations, les solutions suivantes peuvent être appliquées : les chaînes humaines, l'utilisation de véhicules tous-terrains (ATV) afin de transférer les matériaux le long du littoral vers un point d'accès ; les grues ; et les tyroliennes ou câbles aériens. Des hélicoptères ont également été utilisés mais, compte tenu du coût, cette solution devra être évaluée avec soin. Afin de garantir une utilisation optimale de ces ressources, l'opération choisie devra être extrêmement bien coordonnée. Dans certaines circonstances, notamment dans les zones de collecte isolées impliquant de longues distances de transport, le transport direct par hélicoptère vers un site d'élimination ou une zone de stockage temporaire est susceptible de constituer la solution la plus rentable par rapport, par exemple, à l'évacuation des déchets par bateau ; en effet, cette dernière solution nécessitera probablement des manipulations répétées des déchets notamment lors du chargement de l'embarcation le long du littoral, avant de naviguer vers un quai où les déchets seront déchargés puis rechargés sur des camions qui les transporteront ailleurs.

Chronologie

La technique est utilisée pour récupérer des hydrocarbures échoués et des sédiments contaminés à travers les trois phases de lutte et, parfois, pour récupérer des hydrocarbures flottants. Lorsque le critère de validation est proche d'être atteint, un autre traitement devra être mis en œuvre, par tamisage ou hersage, notamment sur les plages récréatives, cependant, dans de nombreux cas, le nettoyage manuel permet d'atteindre un critère de validation satisfaisant.

Critère de validation recommandé

En fonction de la saison, de la probabilité d'un nettoyage naturel et des services fournis par le littoral, les critères de validation sont susceptibles d'aller de l'élimination grossière de la contamination, ou l'élimination des résidus d'hydrocarbure léger ou modéré en surface, à l'absence d'hydrocarbure visible ou enfoui, d'irisation, de texture grasse ou d'odeur d'hydrocarbure.

Avantages et inconvénients

- ✓ La collecte de l'hydrocarbure échoué sur tous les types de littoraux ainsi que les sédiments contaminés des littoraux sableux ou de galets.
- ✓ Très sélective, menant à des teneurs élevées en hydrocarbures dans les déchets souillés avec des quantités relativement faibles de substrats propres, ce qui permet de réduire la quantité de déchets à transporter et éliminer.
- ✓ Elle permet d'atteindre toute une série de critères de validation y compris ceux pour l'utilisation d'agrément.
- ✓ Faible impact biologique.
- ✗ Fastidieux et lent ; comme indiqué, une personne peut en moyenne collecter 1–2 m³ de sable souillé par jour.
- ✗ Une main d'œuvre importante nécessitant une bonne organisation, avec un niveau élevé de supervision pour maintenir la concentration, assurer une récupération sélective de l'hydrocarbure (minimisant ainsi les quantités de déchets générés) et éviter la pollution secondaire.
- ✗ La coordination d'un grand nombre de bénévoles dans un tel rôle nécessite des efforts de gestion significatifs.

Récupération mécanique de l'hydrocarbure échoué

Principale application

- Hydrocarbure non-liquide échoué et sédiments des plages hautement souillés sur des littoraux de sable et de galets accessibles par des engins lourds.
- L'hydrocarbure ou les sédiments contaminés à récupérer doivent être suffisamment consistants pour permettre leur concentration en piles ou tas homogènes conservant leur structure suffisamment longtemps pour permettre une collecte ultérieure par les pelleteuses ou les excavatrices.
- La technique génère des quantités importantes de déchets peu contaminés et demeure applicable uniquement aux littoraux fortement touristiques à la veille ou durant la saison touristique lorsque la nécessité de réagir le plus rapidement possible prévaut sur les considérations environnementales et la réduction des déchets.

Présentation de la méthode

- Les excavatrices, les niveleuses automotrices, les chargeuses chenillées ou sur roues (également appelées chargeurs frontaux ou chariots élévateurs frontaux) sont tous mobilisés dans le cadre de la récupération de l'hydrocarbure et des sédiments souillés sur le littoral.
- Des niveleuses peuvent être utilisées sur des plages de sable fin compact sur lesquelles la pénétration de l'hydrocarbure sera probablement limitée. La lame de la niveleuse peut être placée de façon à écrémer juste au-dessous de la surface de la plage, l'hydrocarbure et le sable peuvent être amassés en rangées pour être récupérés par des chargeurs frontaux (voir l'étude de cas *Alvenus* à la page 37).
- Des bennes chargeuses peuvent être utilisées pour rassembler l'hydrocarbure et les sédiments souillés et les collecter directement. Cependant, la profondeur à laquelle la benne creuse sur la plage ne peut être contrôlée de la même façon qu'avec une niveleuse, une quantité plus importantes de substrats propres étant mélangée avec l'hydrocarbure, entraînant la collecte de quantités considérables de sédiments propres avec les matériaux contaminés.
- La capacité du littoral à accueillir des véhicules lourds dépend du type de substrat et de son état (humide ou sec), mais aussi de l'inclinaison du littoral. Le sable sec et mou, infranchissable par les véhicules sur roues, peut être franchissable par les véhicules chenillés, cependant la quantité d'hydrocarbure mélangé avec le substrat est susceptible d'être plus importante en cas d'utilisation des véhicules chenillés.
- Pour les motifs exposés plus haut, l'utilisation de bulldozers n'est généralement pas recommandée en vue de la collecte mécanique, en raison de la probabilité d'obtenir un excès de mélange de sédiments propres et contaminés.

Chronologie

L'hydrocarbure échoué et des sédiments contaminés sont récupérés durant les premières phases de la lutte, durant la première et la deuxième phase.

Critère de validation recommandé

Contamination légère ou modérée. En cas de pénétration plus importante de l'hydrocarbure, il sera peut-être impossible d'atteindre le critère de validation meilleur qu'une contamination modérée. La mise en œuvre de techniques alternatives peut s'avérer nécessaire pour garantir un nettoyage plus efficace comme le surf washing ou, pour les côtes sableuses, le labourage/le hersage.

Avantages et inconvénients

- ✓ Élimination de l'hydrocarbure échoué et des sédiments contaminés des littoraux de sable et de galets.
- ✓ Élimination rapide de quantités importantes d'hydrocarbure échoué et de sédiments contaminés.
- ✓ Une technique nécessitant peu de main d'œuvre.
- ✓ Un impact biologique faible à modéré ; quelques pertes parmi l'endofaune.
- ✗ Génération potentielle de quantités excessivement importantes de déchets ayant une teneur en hydrocarbure généralement faible quoique variable ;

- X Le déplacement des engins lourds sur les littoraux souillés mélange plus encore l'hydrocarbure au substrat ; certains littoraux, comme ceux composés de sable mou grossier, ne peuvent accueillir d'engins lourds qui risqueraient de s'y enfoncer et de rester bloqués une fois chargés.
- X Le risque potentiel de dommages aux habitats comme les dunes, générés par les engins lourds, associé au risque d'élimination excessive de substrats peut entraîner des modifications géomorphologiques négatives aux profils du littoral et/ou à l'érosion.
- X Il est vivement recommandé de ne pas utiliser des engins lourds sur les littoraux sensibles, comme les marais salants en raison du risque de dommage à long terme causés aux habitats.

ÉTUDE DE CAS 2 : Exemple d'opérations de nettoyage mécanique à l'aide de niveleuses et de camions à bennes sur une plage de sable compacte

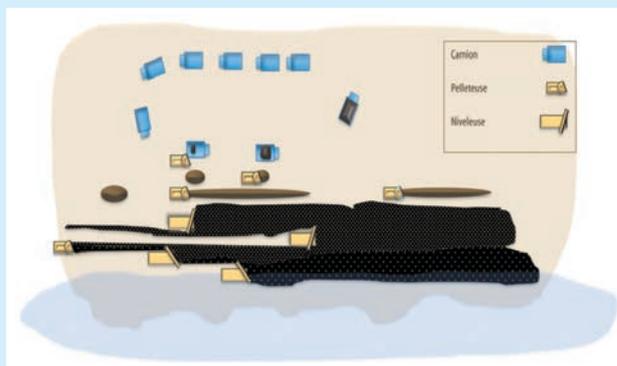
Alvenus, Louisiana, États-Unis, 1984

En juillet 1984, le tanker *Alvenus* s'est échoué sur le fleuve Calcasieu déversant à l'occasion environ 8 500 tonnes³ d'hydrocarbure brut Merex and Pilon. La plus grande partie de l'hydrocarbure s'est échoué sur dix kilomètres le long de la digue de Galveston et sur 21 kilomètres le long de la plage ouest de Galveston, une plage de sable compacte où, en raison de l'envergure de la contamination du littoral et de l'importance touristique du site à ce moment de l'année, une grande opération de nettoyage mécanique a été mise en œuvre. Au plus fort de l'activité, environ 50 niveleuses et 100 camions à bennes, 3 présentant chacun une capacité de 19 m³, ont participé aux opérations et ont permis l'élimination d'environ 76 500 m³ de sable du littoral⁴.

Évoluant depuis la partie supérieure et la partie inférieure de la plage, les niveleuses ont été utilisées pour disposer le sédiment en rangées parallèles à la ligne des eaux. Les rangées de sable souillé ont ensuite été rassemblées en piles par des chargeurs frontaux avant d'être chargées dans des camions.

Malgré la quantité importante de sédiments éliminés, la quantité de déchets générés à l'occasion du nettoyage de la plage de Galveston n'a pas dépassé la quantité moyenne de déchets d'un nettoyage de littoral, qui est souvent égale à dix fois la quantité d'hydrocarbure déversé. En outre, il a été jugé que le réapprovisionnement du sable n'était pas nécessaire dans la mesure où des mouvements importants de sables survenaient chaque année le long de ce littoral.

À droite : schéma du nettoyage mécanique du littoral de Galveston.
Ci-dessous : La plage ouest de Galveston, et une des 50 niveleuses engagées dans les opérations de nettoyage du littoral.



³ Alejandro et Buri, 1987 ⁴ Site internet de NOAA Accident News : <http://incidentnews.noaa.gov/incident/6267>

Surf washing

Principale application

- Littoraux de sable, de galets, de cailloux et de blocs accessibles aux engins lourds et exposés au déferlement des vagues avec des niveaux légers à modérés de contamination et une quantité négligeable d'hydrocarbure échoué.
- Séparation de l'hydrocarbure en vrac et des sédiments dans lesquels il est enfoui ou avec lesquels il s'est intimement mélangé.

Présentation de la méthode

- Les équipements comme les chargeurs frontaux, les excavatrices ou les bulldozers sont utilisés pour déplacer les matériaux contaminés des plages vers les zones de déferlement très agitées.
- En l'absence d'engins, les matériaux peuvent être déplacés manuellement vers la zone de déferlement, en prenant les précautions nécessaires lorsque les activités sont mises en place sur un littoral dynamique.
- Les matériaux sont agités et nettoyés par l'énergie générée par la vague, dans le cadre des processus d'abrasion, d'agrégations hydrocarbure/minéraux et de dispersion. Les produits légers ou moins émulsionnés sont susceptibles de s'évaporer, ce dont témoigne l'odeur d'hydrocarbure durant les opérations.
- Dans des conditions où la probabilité est élevée que des quantités significatives d'hydrocarbure libre soient rejetées, l'utilisation de filets absorbants est recommandée afin de collecter les hydrocarbures visqueux et les tapis ou barrages d'absorbants pour les hydrocarbures plus légers. L'hydrocarbure s'échouant à la surface de la plage peut être récupéré manuellement (voir l'étude de cas *TK Bremen* à la page 39).
- Dans la plupart des cas, le substrat sera remonté sur la plage par les vagues au fil du temps, cependant, les blocs plus volumineux devront être repositionnés afin de maintenir le profil de la plage.

Chronologie

La technique est utilisée durant la seconde et la troisième phase, après l'élimination de l'hydrocarbure en vrac échoué mais avant de lancer les opérations finales de nettoyage des zones à forte valeur récréative, dans la mesure où l'hydrocarbure et les irisations rejetés risquent de re-contaminer ces zones. Alternativement, cette technique pourra être restreinte aux conditions de vent et marée qui charrieront l'hydrocarbure libéré loin des littoraux vulnérables.

Critère de validation recommandé

Pour atteindre un critère de validation acceptable sur les littoraux à forte valeur récréative, il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre un traitement répété ou des opérations labourage/hersage mais aussi de rétablir le profil de la plage. Pour les littoraux sur lesquels le nettoyage naturel survient plus lentement, les matériaux des plages sont laissés dans les zones de déferlement et, au fil du temps, seront redistribués sous l'action des vagues et des marées, en fonction de la taille du grain, pour reformer le profil naturel de la plage. Toute tâche ou film résiduel vieillira et se dégradera naturellement.

Avantages et inconvénients

- ✓ S'appuie sur des processus naturels de nettoyage.
- ✓ Nécessite peu de main d'œuvre.
- ✓ Méthode de traitement des hydrocarbures enfouis.
- ✓ Réduit les quantités de déchets souillés devant être évacués et éliminés.
- ✗ Rejet potentiel d'hydrocarbure et d'irisations.
- ✗ Perturbation temporaire du profil de la plage.
- ✗ Risque de faibles pertes d'endofaune.

ÉTUDE DE CAS 3 : Exemple de surf washing utilisé pour nettoyer plusieurs kilomètres d'une plage de sable souillée

TK Bremen, Brittany, France, 2011

En décembre 2011, pendant une tempête, le cargo *TK Bremen* s'est échoué sur une plage de sable déversant de l'IFO 120, et du gazole sur le littoral. Le site d'échouement se situait à proximité de dunes protégées et d'un estuaire écologiquement vulnérable, abritant une importante pêcherie ostréicole. Le gros de l'hydrocarbure échoué a été éliminé de la plage durant les premiers jours par des méthodes manuelles et mécaniques, cependant des quantités considérables d'hydrocarbure enfoui et de sable souillé demeurèrent à l'embouchure de l'estuaire. Les sensibilités environnementales et socio-économiques de la zone environnante impliquaient que toute nouvelle opération de nettoyage devait prendre en compte l'état de la mer, le vent et les marées de manière très attentive, afin d'éviter une nouvelle contamination de ces littoraux. Le nettoyage naturel a été écarté en raison du risque de remobilisation de l'hydrocarbure avec l'arrivée des marées de vive-eau, particulièrement dans les mers agitées hivernales, mais aussi du risque de pénétration de l'hydrocarbure dans



ITOPF



ITOPF

l'estuaire. La quantité importante de sable à traiter rendait également tout nettoyage ex-situ irréaliste.

Le surf washing a dès lors été choisi pour nettoyer plusieurs kilomètres carrés de sables souillés, en quelques jours seulement. Habituellement mise en œuvre à marée montante, cette technique peut également être utilisée lors des marées descendantes afin de permettre une récupération plus efficace de l'hydrocarbure déversé. Le site choisi pour le surf washing était suffisamment éloigné de la zone souillée originale pour que l'hydrocarbure déversé soit charrié loin de l'estuaire, mais restait assez proche pour que le sable nettoyé reste dans le système sédimentaire de la plage. L'hydrocarbure était récupéré dans l'eau immédiatement, en aval de la zone de surf washing à l'aide de filets à petites mailles, attachés par des cordes, parallèlement à la ligne de côte et orienté en direction de la dérive, ancrés à l'aide de "big-bags" d'1 m³ remplis de sable et enterrés sur la plage. Au fil du retrait de la marée, le point de surf washing a été déplacé vers la partie inférieure de la côte, dans le sens du ressac. Pour s'assurer que l'hydrocarbure/l'irisation remobilisé ne soit pas transporté vers l'embouchure de l'estuaire, l'opération a été mise en œuvre uniquement durant les périodes d'agitation modérée à élevée des vagues et de vents de nord et nord-ouest, et durant les trois ou quatre premières heures de la marée descendante.

En raison de la fluidité de l'hydrocarbure, les filets n'ont pas été en mesure de collecter tous les polluants déversés : certains d'entre eux se sont échappés sous la forme d'irisations qui, au final, ont été dissipés en mer. À la surface de la mer, au-delà de la zone de déferlement, deux petits bateaux équipés de filets à grosse maille et de barrages absorbants ont récupéré les hydrocarbures flottants. Les cycles de marées suivants ont permis de terminer le nettoyage et de redistribuer progressivement le sédiment déplacé.

Jets d'eau basse pression (*Flooding/Flushing*)

Principale application

- Plages de sable ou de galets dans lesquelles un hydrocarbure est enfoui et le surf washing n'est pas praticable.
- Côtes rocheuses et les protections côtières sur lesquelles l'hydrocarbure est piégé au sein de cavités.
- Hydrocarbure capturé sous quais.
- En combinaison avec le lavage à haute pression pour évacuer les écoulements vers les points de collecte.
- Littoraux sensibles comme les marais salants et les mangroves.

Présentation de la méthode

- La technique s'appuie sur des quantités importantes d'eau de mer à des pressions basses ou modérées pour déloger et remobiliser l'hydrocarbure échoué, piégé ou enfoui et l'orienter vers des points de collecte.
- Des pompes centrifuges portables auto-amorçantes (30 à 60 m³/h) peuvent être utilisées pour assurer l'alimentation en eau de mer des lances incendies ou des lances à eau (tuyau rigide portatif) orientés vers la plage afin d'agiter le substrat et libérer l'hydrocarbure piégé. Certaines lances permettent d'introduire de l'air dans le flux d'eau via un dispositif de venturi censé provoquer l'agitation et la flottaison nécessaire pour faire remonter l'hydrocarbure à la surface.
- L'hydrocarbure libéré peut ainsi flotter jusqu'aux points de collecte grâce à la saturation de la section du littoral traitée en eau pompée et déversée à travers des tuyaux perforés installés le long de la partie supérieure de la plage.
- Il est également possible d'utiliser des grandes quantités d'eau à des pressions basses pour rincer l'hydrocarbure liquide échoué sur des littoraux sensibles comme les marais salants et les mangroves, et d'éviter des niveaux d'intervention physique et le risque de dommage lié à une élimination manuelle.

Chronologie

Les opérations de lessivage (« flushing ») sont généralement applicables durant la deuxième phase de la lutte. Elles doivent être mises en œuvre avant la fin des opérations de nettoyage des littoraux adjacents ; si l'hydrocarbure remobilisé n'est pas récupéré, il est susceptible de contaminer les zones environnantes.

Critère de validation recommandé

Le critère de validation est atteint lorsque les opérations de lessivage ne libèrent plus d'hydrocarbure, c'est-à-dire qu'il n'y a plus d'hydrocarbure récupérable. En fonction du type de littoral, le résultat peut aller d'une texture grasse pour les plages de sable à une couche relativement épaisse pour les hydrocarbures visqueux attachés aux roches ou aux protections côtières, sur lesquelles seul de l'hydrocarbure mobile a été collecté à l'aide de cette technique.

Avantages et inconvénients

- ✓ Élimination de l'hydrocarbure enfoui et piégé.
- ✓ Élimination de l'hydrocarbure mobile des littoraux sensibles.
- ✓ Perturbation minimale du profil de la plage (voir également le « surf washing » à la page 38).
- ✓ Faible impact biologique.
- ✗ Besoin en main d'œuvre modéré à élevé.
- ✗ Zone traitée restreinte par l'utilisation d'une seule lance à eau impliquant des progrès lents.
- ✗ Une couche épaisse d'hydrocarbure demeure sur certains types de littoraux, par ex. les côtes rocheuses et les protections côtières.

Utilisation de bétonnières

Principale application

- Plages de galets/ cailloux abritées sur lesquelles des quantités importantes d'hydrocarbure demeurent piégées, sur un littoral peu agité (non adapté au surf washing) ou sans marée.
- Littoraux de galets/cailloux plus agités sur lesquels, en cas de recours au surf washing, il existe un risque significatif de contamination par l'hydrocarbure rejeté des ressources vulnérables adjacentes, comme la mariculture, les prises d'eau de mer et les plages de loisir.

Présentation de la méthode

- La toupie de la bétonnière est partiellement remplie de cailloux / galets contaminés. (afin d'éviter tout dommage à la toupie et aux pièces du malaxeur, le diamètre des roches ne saurait excéder 150 mm). Une bétonnière standard a une capacité de 5-6 m³. Les gros débris, comme le bois flottant, doivent être retirés avant le chargement.
- Un solvant, comme un agent nettoyant du littoral (voir Utilisation des agents chimiques de nettoyage à la page 44) ou de kérosène inodore est ajouté à hauteur de 1 - 2 %, c'est-à-dire selon un ratio absorbant/substrat pollué situé entre 1/50 et 1/100 en fonction du niveau de contamination. L'absorbant et le substrat pollué sont bien mélangés par une rotation rapide de la toupie pendant environ cinq minutes.
- La vitesse de rotation est diminuée afin de remplir entièrement d'eau le malaxeur, le contenu de la toupie étant mélangé pendant une durée supplémentaire de 30 à 60 minutes en fonction de la taille moyenne des galets ; les agrégats plus petits nécessitent plus de temps que les grands.
- L'eau de lavage est décantée dans un réservoir de stockage temporaire pour permettre la séparation avec l'hydrocarbure, et les galets sont déchargés et prêts à être transportés vers le littoral d'origine.
- L'hydrocarbure séparé de l'eau de lavage peut être récupéré à l'aide d'absorbants ou d'un petit récupérateur, des efforts devant être déployés pour recycler la plus grande quantité possible d'eau de lavage. L'eau de lavage utilisée sera traitée via des dispositifs d'élimination distincts, conformément à la réglementation locale.
- Une station de nettoyage équipée de plusieurs bétonneuses exploitées parallèlement peut permettre d'optimiser les tâches logistiques et de tirer parti des économies d'échelle en regroupant les équipements associés comme les chargeurs, les pompes et les réservoirs.
- Les galets restent légèrement contaminés par un film gras à la fin du processus. Ils peuvent être placés au bord de l'eau en vue d'un rinçage final. Par mauvais temps, ces galets seront redistribués et tout film résiduel sera éliminé.

Chronologie

Il s'agit d'une technique finale de nettoyage appliquée durant la troisième phase des opérations de nettoyage et nécessitant l'élimination de l'hydrocarbure en vrac avant son utilisation.

Critère de validation recommandé

Le processus laisse un film gras qui sera éliminé par le nettoyage naturel survenant au bord de l'eau.

Avantages et inconvénients

- ✓ En fonction de la taille de la bétonneuse, elle permet d'atteindre une vitesse de traitement de 5 à 6 tonnes/heure.
- ✓ Elle permet le retour du substrat nettoyé vers les littoraux sources.
- ✓ L'équipement est mobile et le poste de lavage peut être doté de plusieurs machines fonctionnant parallèlement.
- ✗ Faible besoin en main d'œuvre et des besoins importants en équipement.
- ✗ Relativement lente et, par conséquent, onéreuse.
- ✗ Elle requiert une double manipulation et le transport de matériaux depuis le littoral vers le poste de lavage et inversement.

- X De fines particules de sables et de graviers sont accumulés dans le malaxeur, leur traitement pouvant nécessiter des dispositifs d'élimination distincts.
- X Il est possible que les quantités importantes d'eau de lavage nécessite un traitement ultérieur et la mise en place de dispositifs d'élimination distincts, conformément à la réglementation locale.

Le lavage in-situ

Principale application

- Les littoraux composés de petits rochers et de galets accessibles aux engins et sur lesquels des quantités importantes d'hydrocarbure et de débris souillés sont restés piégées.
- Les zones dans lesquelles le déplacement des matériaux contaminés dans la zone de déferlement n'est pas possible ou les littoraux sans marée.
- Les littoraux très agités sur lesquels, en cas de recours aux techniques de surf washing ou de lessivage, il existe un risque important de contamination par l'hydrocarbure rejeté sur les ressources vulnérables adjacentes d'un point de vue économique ou environnemental.
- Cette technique fournit un traitement à des vitesses très limitées en termes de tonnes de substrats contaminés traitées par jour ; elle restera vraisemblablement limitée aux courtes sections du littoral ou aux baies dans lesquelles les préoccupations environnementales ou économiques sont particulièrement importantes.

Présentation de la méthode

- Il existe deux méthodes:
 1. Une excavatrice est nécessaire pour déplacer le matériau vers un réservoir suffisamment robuste et étanche, comme un réservoir sectionnel (réservoir de Braithwaite), une benne positionnée sur une surface plane ou tout autre récipient disponible localement pouvant être adapté aux fins poursuivies. Le godet d'excavatrice est utilisé pour agiter le matériel dans la cuve et le mélanger avec des agents produits de lavage ou du kérosène inodore et de l'eau de mer, de la même façon qu'avec une bétonneuse comme décrit plus haut. L'hydrocarbure libéré peut être collecté à la surface de la cuve de lavage et dans l'eau souillé pompé vers les cuves de stockage temporaire dans lesquelles l'hydrocarbure pourra décanter.
 2. L'excavatrice est utilisée pour charger le matériau sur une grille ultra résistante avec un maillage aux dimensions appropriées afin de retenir le matériau devant être nettoyé au-dessus de la cuve. Le matériel est dès lors lavé au moyen de jets d'eau haute pression et l'eau de lavage est collectée dans le réservoir où elle pourra être pompée vers les cuves de stockage temporaire aux fins de séparation et de récupération de l'hydrocarbure. Cette méthode peut également être utilisée afin de nettoyer des éléments spécifiques des protections côtières, comme les Tetrapodes, Dolos, Xblocs etc., dans le cas où les protections seraient démontées en vue de leur nettoyage.
- Le matériau ainsi nettoyé est placé dans la zone de déferlement en vue du nettoyage final.

Chronologie

Il s'agit d'une technique de nettoyage utilisée durant la deuxième et la troisième phase après que l'hydrocarbure libre mobile a été récupéré, mais qu'il reste du substrat très contaminé.

Critère de validation recommandé

Élimination de la contamination apparente par l'hydrocarbure, et le critère de validation devra être adapté au mode d'utilisation du littoral.

Avantages et inconvénients

- ✓ Elle permet d'éliminer la contamination apparente des blocs, des rochers et des protections côtières, et, combinée avec le lavage à haute pression, peut garantir un niveau élevé de nettoyage.
- ✓ Elle empêche le transfert du matériel souillé depuis le littoral.
- ✗ Vitesse de traitement par lot très limitée et besoin en équipement relativement élevé.
- ✗ Il peut être nécessaire de poursuivre le traitement de l'eau de lavage, des dispositifs d'élimination distincts devant être mis en place conformément à la réglementation locale.

Le lavage à haute pression**Principale application**

- Les rochers et les substrats rocheux sur lesquels subsiste une couche qui n'est pas exposée à une action suffisante des vagues et qui a donc vieilli et durci ou est susceptible de subir de telles modifications.
- Les structures artificielles.
- Les estrans rocheux facilement accessibles au public ; les littoraux à forte valeur récréative.

Présentation de la méthode

- Certains nettoyeurs à pression sont dotés de systèmes d'eau chaude ou d'eau froide à haute pression ; cependant, plus le résidu d'hydrocarbure est résistant, plus la température requise pour le décoller sera élevée. S'agissant des nettoyeurs à eau chaude, il est recommandé de régler la température à 95°C au maximum, dans la mesure où la vapeur d'eau pressurisée n'est pas aussi efficace que l'eau. Les pressions de service peuvent varier de 50 à 150 bars avec des débits d'eau variant de 10 à 20 litres/minutes. Une zone d'essai doit être sélectionnée afin d'optimiser l'efficacité de la technique en utilisant différents niveaux de pressions et de températures.
- Alors que certains systèmes sont conçus pour être utilisés avec de l'eau de mer, la plupart fonctionnent avec une alimentation en eau douce qui doit être portable afin de pouvoir être déplacée et suivre la zone de travail en fonction de la progression des opérations. Les systèmes supportant l'eau de mer peuvent être alimentés par des pompes submersibles dotées de filtres empêchant l'infiltration des coquillages et des algues etc. l'eau de mer étant alors acheminée vers une cuve de décantation avant de pénétrer dans les pompes à haute pression.
- Avec une équipe de deux personnes par nettoyeur (un utilisant la lance, l'autre supervisant les effluents et les problèmes de maintenance) une surface moyenne de 1 à 3 m²/heure peut en principe être nettoyée en fonction des compétences de l'opérateur, de la facilité d'accès et du niveau de contamination.
- Un nettoyage depuis la partie supérieure du littoral permet aux effluents de s'écouler vers des zones qui n'ont pas encore été nettoyées. En fonction du type et de la configuration du littoral, les effluents peuvent être contenus dans des tranchées ou des mares intertidales, ou bien au bord de l'eau à l'aide de barrages absorbants.
- Lorsque les effluents ne peuvent être contenus, comme sur les plateformes rocheuses planes, un flux d'eau supplémentaire, ou technique de rinçage, pourrait s'avérer nécessaire pour diriger les effluents vers un point de collecte. Lors du nettoyage des roches en marge d'une plage de sable ou de galet, des films en géotextiles ou en plastique peuvent être utilisés pour prévenir la pénétration des effluents dans le substrat. Les absorbants positionnés à la base des rochers nettoyés sont utilisés pour récupérer la plus grande quantité possible d'hydrocarbure lorsque les effluents les traversent.
- À des pressions de service élevées, les projections sur les surfaces adjacentes de la zone de travail peuvent constituer un problème. Les zones qui ont déjà été nettoyées ou qui n'ont pas été souillées doivent être protégées.

Chronologie

Il s'agit d'une technique finale (troisième phase) de nettoyage. Afin d'éviter une nouvelle contamination des surfaces nettoyées, elle ne saurait être mise en œuvre avant la récupération de tous les hydrocarbures mobiles. Elle est généralement limitée aux zones à forte valeur récréative ou utilisée lorsqu'il est vraisemblable que le nettoyage naturel sera inefficace ou insuffisant, notamment dans les ports.

Critère de validation recommandé

De fines tâches ou films résiduels sont susceptibles de subsister ; il est judicieux de les laisser vieillir et se dégrader naturellement. Un traitement répété ou l'utilisation conjuguée avec des agents chimiques de nettoyage pourrait s'avérer nécessaire dans le cas où l'élimination des traces d'hydrocarbure serait requise, notamment lors du nettoyage des promenades et des marinas.

Avantages et inconvénients

- ✓ Elle permet d'atteindre un haut niveau de propreté.
- ✓ L'équipement mobile peut être trouvé relativement facilement.
- ✓ Un besoin modéré en main d'œuvre.
- ✗ Destructif sur le plan biologique.
- ✗ Des niveaux élevés de « projection » constituent un risque de contamination des zones adjacentes à la zone de travail.
- ✗ Une détérioration potentielle des surfaces en béton, des rochers tendres (par ex. le grès) et des matériaux de jointoiement des structures en béton.
- ✗ Relativement lente et, par conséquent, onéreuse.

L'utilisation d'agents chimiques de nettoyage**Principale application**

- Généralement utilisée en combinaison avec la technique de lavage de moyenne à haute pression, lorsque son bien-fondé est établi par une NEBA et qu'elle est permise par les lois. La technique est habituellement utilisée pour le nettoyage :
 - des zones rocheuses et des substrats rocheux ;
 - des structures artificielles ; et
 - des estrans rocheux facilement accessible au public ; les littoraux à forte valeur récréative.
- L'utilisation d'agents chimiques sur des littoraux de galets / de blocs n'est pas recommandée dans la mesure où le mélange hydrocarbure / agent chimique tend à pénétrer plus profondément dans les galets, le rinçage sous l'effet des marées devenant alors inefficace.

Présentation de la méthode

- Il existe deux catégories de produits chimiques :
 1. Les agents de nettoyage des surfaces sont appliqués conformément aux consignes du fabricant. L'action combinée solvant-tensioactif des produits de lavage réduit la viscosité de l'hydrocarbure et altère sa tension superficielle pour faciliter le nettoyage de la surface. Fondamentalement, contrairement à l'utilisation de dispersants (voir ci-dessous), l'objectif n'est pas de disperser l'hydrocarbure libéré mais de le collecter, soit directement à l'aide d'absorbants, soit via son lessivage vers une zone de collecte aux fins de récupérations par des absorbants, des pompes ou des récupérateurs.
 2. Lorsque c'est permis, les dispersants sont appliqués sur la surface souillée et mélangés à l'hydrocarbure par un brossage intensif. Le mélange hydrocarbure/dispersant est alors rincé. Aux fins de planification, un ratio hydrocarbure/dispersant de 20/1 est appliqué. Une estimation est faite de la quantité moyenne d'hydrocarbure par unité de surface, basée sur l'épaisseur de l'hydrocarbure, pour déterminer le taux d'application approprié pour la zone à traiter. À titre d'illustration, une couche d'hydrocarbure de 2 mm d'épaisseur représente 2 litres d'hydrocarbure/m², nécessitant $\frac{2}{20}$ litres de dispersant, ou 1 litre de dispersant par 10 m² de surface contaminée.

- L'utilisation de dispersants prime sur les produits de lavage car l'hydrocarbure libéré par ces derniers a besoin d'être récupéré, alors que les dispersants visent à favoriser la dispersion de l'hydrocarbure dans les eaux côtières. Pour cette raison, leur utilisation doit être limitée aux zones dans lesquelles les mouvements des eaux sont suffisants pour permettre la dilution rapide de l'hydrocarbure dispersé.

Chronologie

Il s'agit d'une technique finale de nettoyage, généralement utilisée durant la troisième phase de l'opération de nettoyage et dans les zones à forte valeur récréative.

Critère de validation recommandé

Des traces minimales de tâches ou de film d'hydrocarbure. Une application répétée peut être nécessaire sur les tâches particulièrement persistantes.

Avantages et inconvénients

- ✓ Elle permet d'atteindre un haut niveau de propreté.
- ✗ Dans le cas où l'utilisation d'agents chimiques serait permise, seuls les produits approuvés à cette fin par les dispositions légales peuvent être utilisés et seulement dans les dosages recommandés.
- ✗ Besoin en main d'œuvre modéré à élevé.
- ✗ Nécessite une supervision étroite afin d'assurer une application appropriée des agents chimiques et une utilisation correcte des EPI.
- ✗ Risques d'impacts biologiques localisés.
- ✗ L'hydrocarbure libéré par les agents de nettoyage de surfaces doit être récupéré.
- ✗ Les dispersants nécessitent une agitation suffisante de la mer afin de permettre la dilution rapide de l'hydrocarbure dispersé.
- ✗ N'est pas adaptée au traitement à grande échelle.
- ✗ N'est pas adaptée aux littoraux de cailloux/de galets.
- ✗ Relativement onéreuse.

Utilisation d'absorbant particulaire comme agent masquant

Principale application

- Les côtes rocheuses à l'accès limité.
- Les zones d'échouage des phoques, des pingouins et des otaries.
- La végétation des marais afin de protéger la faune.

Présentation de la méthode

- Un minéral particulaire (vermiculite) ou des absorbants organiques (tourbe, écorce, paille etc.) sont répandus sur le littoral souillé.
- Les absorbants minéraux sont plutôt utilisés sur les côtes rocheuses alors que les absorbants organiques peuvent l'être à la fois sur les rochers et dans les marais.
- Sur les côtes rocheuses et les marais lorsque ceux-ci sont accessibles, l'absorbant pourra être appliqué sur des couches plus épaisses d'hydrocarbure ; le mélange hydrocarbure / absorbant peut être récupéré manuellement.
- Plus souvent, cependant, l'hydrocarbure et les absorbants, sont dégradés naturellement après application. Alors que les absorbants minéraux eux-mêmes ne seront pas dégradés automatiquement, ils migreront naturellement au fil du temps et se répartiront sur une zone étendue.
- Dans le cas où les absorbants seraient emportés prématurément en laissant des surfaces souillées et collantes, des applications répétées pourraient être nécessaires.

Chronologie

Cette technique peut être utilisée durant la deuxième et la troisième phase des opérations de nettoyage. Après récupération de l'hydrocarbure mobile, les absorbants particuliers sont utilisés pour masquer le revêtement d'hydrocarbure sur les roches et la végétation marécageuse afin de protéger la faune.

Critère de validation recommandé

Lorsqu'ils sont utilisés pour protéger la faune, aucun traitement ultérieur n'est prévu et l'hydrocarbure se dégrade généralement naturellement.

Avantages et inconvénients

- ✓ Il s'agit d'une méthode permettant de masquer l'hydrocarbure toujours collant et mobile, jusqu'à son élimination et sa dégradation sous l'effet des processus d'altération et de nettoyage naturel.
- ✓ Elle permet de réduire le contact entre l'hydrocarbure et la faune (oiseaux et mammifères).
- ✗ Risque d'impact biologique localisé pour la faune autre que les groupes cibles.
- ✗ Le mélange absorbant/hydrocarbure n'est généralement pas récupérable, si bien qu'elle ne saurait constituer une technique efficace de nettoyage.

Le criblage**Principale application**

- Le sable sec, les plages de loisirs contaminées par des boulettes d'hydrocarbure altéré, et le sable restant après les opérations de nettoyage manuel.

Présentation de la méthode

- En principe, le sable contaminé est placé sur un tamis à maille fine dont le maillage permet le passage du sable sec intact lorsque le tamis est secoué ou vibre tout en retenant les boulettes souillées.
- Il peut s'agir de tamis allant des tamis portables de jardin, des tamis statiques de 1 à 2 mètres ou bien de tamis vibrants aux dimensions d'un plateau de table, jusqu'aux modèles commerciaux utilisés dans l'industrie de traitement des minéraux. Alors que les tamis statiques et les tamis vibrants de taille moyenne peuvent être alimentés à la main, les modèles industriels plus grands nécessitent le recours à des engins lourds qui déplaceront le sable aux fins de traitement, chargeront le tamis et retourneront le matériau nettoyé.
- À une échelle moindre, l'utilisation de tamis de jardin requiert une main d'œuvre importante et entraînerait probablement une décision de mettre fin aux opérations en fonction de la justification d'un tel niveau d'effort.

Chronologie

Il s'agit d'une technique de nettoyage final (troisième phase) applicable aux plages de loisirs.

Critère de validation recommandé

Le critère de validation cible est l'absence de boulettes agglomérées d'hydrocarbure vieilli et de sable.

Avantages et inconvénients

- ✓ Elle permet d'atteindre un haut niveau de propreté.
- ✓ La plupart des équipements sont relativement mobiles.
- ✓ Elle permet de réduire la quantité de déchets à éliminer.
- ✓ Son impact biologique est minime.
- ✗ Les opérations de tamisage à grande échelle requièrent le transfert des matériaux vers le site de tamisage et le retour des produits propres vers la plage.
- ✗ Les opérations à petite échelle impliquent des besoins élevés en main d'œuvre.

Les machines de nettoyage des plages**Principale application**

- Les plages de sable de loisirs contaminées par des résidus générés par le nettoyage manuel, ou des boulettes agglomérées d'hydrocarbure vieilli et de sable. La technique requiert que les littoraux soient accessibles aux véhicules et notamment aux tracteurs et remorques.

Présentation de la méthode

- Les machines de nettoyage des plages sont principalement utilisées pour la collecte des débris laissés par les usagers des plages de loisirs. Elles sont principalement conçues comme des systèmes rotatifs de ratissage ou des systèmes de criblage ou une combinaison de ces deux dispositifs. S'agissant des systèmes de ratissage, des dents sont montées sur une ceinture rotative. Le matériel collecté est soulevé par les dents et acheminé vers une trémie. Dans le cadre du système de criblage, le sable est retiré de la plage sur une épaisseur prédéterminée et acheminé vers un tamis vibrant. Le sable propre passe à travers le tamis pour être de nouveau déposé sur la plage, alors que les débris souillés sont transférés vers une trémie de récupération. Les machines disponibles incluent des dispositifs contrôlés par un piéton et de la taille d'une tondeuse, des systèmes remorqués derrière un tracteur ainsi que les machines automotrices.
- Une autre approche plus efficace sur les surfaces humides et compactes en sable s'articule autour d'un tambour oléophile qui prélève l'hydrocarbure lorsqu'il est appliqué le long de la plage. L'hydrocarbure sur le tambour est alors raclé et acheminé vers un compartiment de stockage.



Une machine de nettoyage des plages tirée par un tracteur

Chronologie

Il s'agit d'une technique de nettoyage final (troisième phase) applicable aux plages de loisirs de sable.

Critère de validation recommandé

Aucune boulettes agglomérées d'hydrocarbure vieilli et de sable n'est visible.

Avantages et inconvénients

- ✓ Elle permet d'atteindre un haut niveau de propreté.
- ✓ Un équipement mobile.
- ✓ De très faibles besoins en main d'œuvre.
- ✓ Elle minimise la quantité de déchet à éliminer.
- ✓ De grandes zones littorales peuvent être traitées relativement rapidement.
- ✓ Son impact biologique est minime.
- ✗ La disponibilité restreinte des machines de nettoyage des plages en dehors des grands stations balnéaires.
- ✗ Les boulettes de goudron sont susceptibles de se morceler durant leur traitement (notamment par temps chaud) générant ainsi de petites boulettes de goudrons se déposant sur la plage.

Hersage/labourage**Principale application**

- Littoraux de sables ou de petits galets soumis à la marée aptes à accueillir la circulation de tracteurs équipés de charrues ou de herses.

Présentation de la méthode

- Plusieurs techniques de nettoyage permettent d'amener les littoraux de sable et de galets à de faibles niveaux de contamination, tout en laissant une texture grasse résiduelle et une odeur d'hydrocarbure. L'utilisation d'équipements agricoles, par ex. des charrues et des herses, afin de retourner et d'aérer les matériaux de la plage, permet généralement d'éliminer rapidement les niveaux résiduels de nuisance de la contamination.
- L'action des équipements de travail des sols est similaire à celle du surf washing, sans toutefois nécessiter un déplacement massif du substrat vers la zone de déferlement. Cette technique permet de ramener les matériaux contaminés de la plage à la surface, favorisant la biodégradation et la dispersion des agrégats minéraux de l'hydrocarbure.
- Il peut être nécessaire de répéter cette technique de « culture » de la plage sur plusieurs cycles de marées consécutifs pour atteindre le critère de validation requis.

Chronologie

Il s'agit d'une technique de nettoyage final (troisième phase) utilisée pour favoriser le nettoyage naturel.

Critère de validation recommandé

Pas d'hydrocarbure, d'hydrocarbure enfoui, d'irisation, de texture grasse visible et pas d'odeur d'hydrocarbure.

Avantages et inconvénients

- ✓ Elle permet d'atteindre un haut niveau de propreté en renforçant les processus naturels.
- ✓ L'équipement requis est largement disponible.
- ✓ Nécessite peu de main d'œuvre.
- ✗ Risque de pertes parmi la faune et la flore.



Le labourage d'un littoral souillé

ITOPF

Le réapprovisionnement en sable

Principale application

- Les littoraux de sable et de galets accessibles au public au pic ou à la veille de la saison touristique, période à laquelle la perte de services de loisirs risque d'avoir des conséquences économiques significatives. Le matériau de remplacement doit correspondre étroitement à celui éliminé, en termes de composition minérale et de taille du grain. Dans le cas où il serait différent de l'original, il est probable qu'il réagisse différemment aux conditions hydrauliques, et il est possible qu'il soit rapidement emporté. Il convient également de prendre en compte la probabilité de réapprovisionnement naturel. La plupart des plages de sable sont constamment en phase d'accrétion et d'érosion et dans des conditions de vents forts ou en présence d'une combinaison de vents et de marées, les profils de la plage sont susceptibles de changer radicalement sur une période de 24 heures. De tels changements peuvent parfois être exprimés sous la forme d'une augmentation ou d'une diminution de la profondeur de sable.
- La technique peut également être envisagée pour les autres littoraux sur lesquels des quantités importantes de matériaux ont été éliminés à la suite des opérations de nettoyage et lorsque la source du réapprovisionnement naturel a été épuisée si bien qu'il est très peu probable que les matériaux soient remplacés sans intervention. La difficulté dans de telles situations est de retrouver localement des matériaux qui correspondent étroitement au matériau original afin d'éviter leur érosion rapide.
- Pour ces motifs, il est important d'admettre que les circonstances dans lesquelles cette technique pourrait être appropriée ou efficace sont très limitées.

Présentation de la méthode

- Le sable ou les galets sont transportés en camion depuis la source locale des matériaux de substitution appropriés et répartis sur la plage soit manuellement soit au moyen d'engins lourds.

Chronologie

Il s'agit d'une opération de nettoyage final (troisième phase) applicable dans des conditions très limitées.

Critère de validation recommandé

Le chantier est recouvert de sable ou de galet propre, et dès lors aucun hydrocarbure n'est visible ; l'hydrocarbure n'est pas enfoui et il n'y a pas d'irisation, de texture grasse ou d'odeur d'hydrocarbure.

Section 4 : Type de littoraux et caractéristiques liées de contamination

Lorsque l'hydrocarbure s'échoue sur le littoral, l'interaction entre l'hydrocarbure et le littoral dépend des caractéristiques de l'hydrocarbure et du type de littoral. Cette section décrit les caractéristiques de la contamination résultant d'une telle interaction et traite des implications du nettoyage sur un ensemble de littoraux représentatifs.

Les zones humides

En général, l'hydrocarbure déposé sur les vasières ne pénètre pas dans le substrat dans la mesure où la nappe phréatique est suffisamment haute pour fournir une protection contre la migration en profondeur des hydrocarbures, y compris les hydrocarbures légers. Il est plus probable que l'hydrocarbure flottera de nouveau et qu'il migrera vers une autre zone. Cependant, il existe trois exceptions. Par exemple, l'hydrocarbure peut pénétrer dans les sédiments vaseux via la tige des plantes détériorées, les terriers des animaux et les trous de vers etc. Alternativement, si l'hydrocarbure était déversé durant une tempête, la mer agitée pourrait soulever et maintenir en suspension des quantités importantes de sédiment qui se mélangeront ensuite avec l'hydrocarbure dispersé. Lorsque la tempête se calme, le mélange d'éléments solides et d'hydrocarbure en suspension est déposé et l'hydrocarbure est incorporé au sédiment. Sans agitation, l'hydrocarbure peut demeurer dans le sédiment soumis à un processus de dégradation anaérobie lente à moins qu'une autre tempête de la même envergure provoque sa remobilisation. Deux exemples fort bien documentés de ce phénomène, qui sont souvent cités, concernent le sinistre de la barge *Florida* (Massachusetts, États-Unis, 1969) et le sinistre du *Braer* (Shetland, Royaume-Uni, 1993). Lors du sinistre de la barge *Florida*⁵, les traces d'un hydrocarbure incorporé au sédiment d'un marécage ont été observées deux décennies après le sinistre. Dans le cas du *Braer*,⁶ les mélanges hydrocarbure/sédiment représentant environ 30 % de l'hydrocarbure déversé ont été incorporés aux sédiments des îles Shetland, dont une part substantielle a été retrouvée dans les fonds marins près de l'île de Fair, à quelques 120 kilomètres du site du déversement.

Alors qu'une lutte en pleine mer peut réduire la quantité d'hydrocarbure approchant des zones humides, la vaste superficie de tels habitats rend leur protection plus difficile. Cependant, la mise en place de barrières à travers les principales embouchures peut parfois permettre de restreindre la quantité d'hydrocarbure pénétrant dans la zone humide. Dans certains cas, lorsque les digues mises en

place sont confrontées à un flux hydraulique puissant, il est recommandé de laisser passer l'eau à travers la digue tout en retenant l'hydrocarbure. Pour les marais salants, de la paille, des filets et des coquilles d'huîtres ont été utilisés avec un certain succès, il convient cependant de prêter attention aux courants des marées auxquels de telles protections devront résister.

Sur les côtes vaseuses souillées, le défi le plus important est présenté par l'hydrocarbure piégé dans la végétation, par exemple dans les systèmes de racines d'une mangrove située dans une région tropicale, ou dans la végétation d'un marais salant d'une zone tempérée. Dans la plupart des cas, des considérations environnementales plutôt que socio-économiques sont prises en compte, la question se posant ici étant de savoir comment réduire l'impact du déversement tout en prenant soin de ne pas faire plus de mal que de bien

Exemple d'une barrière de coquilles d'huîtres



TOBT

⁵ Teal, J. M. et al., (1992). ⁶ Davies, J. M. and Topping, G. (eds) (1997).

en intervenant au sein de ces habitats vulnérables. D'une part, laisser l'hydrocarbure à sa place pourrait entraîner la mortalité des plantes et des animaux évoluant dans de tels habitats alors que d'autre part, les opérations de nettoyage elles-mêmes pourraient causer des dommages aux habitats, retardant la régénération et conduisant à des dommages à long terme. Pour ces motifs, les zones humides souillées sont souvent abandonnées aux processus de régénération naturelle.

Mangroves

Les mangroves sont connues comme étant très sensibles aux effets des déversements d'hydrocarbure, en fonction du type d'hydrocarbure déversé. L'expérience a montré que, de manière générale, les produits légers raffinés sont plus nocifs que les hydrocarbures bruts qui eux-mêmes sont plus nocifs que les fiouls lourds. Le type de sédiment semble également avoir une incidence sur le niveau de dommage subi, les mangroves situées dans les sédiments fins (boues) étant plus sensibles que celles situées dans les sédiments grossiers. Ces observations nous montrent que si les hydrocarbures épais peuvent être éliminés manuellement en faisant preuve d'attention, les efforts visant à éliminer les produits raffinés plus légers doivent être déployés le plus tôt possible afin de déplacer l'hydrocarbure des mangroves vers le large où il pourra être récupéré.



Nettoyage manuel d'un déversement de fioul lourd dans les mangroves.

Les marais salants

L'expérience acquise à la suite de plusieurs accidents, notamment le sinistre de l'*Amoco Cadiz* (Bretagne, France, 1978) a pendant des années constitué la source principale d'informations des intervenants sur les dommages générés par les opérations de nettoyage excessives mises en œuvre dans les marais salants. L'utilisation d'équipements lourds, la supervision déficiente de la main d'œuvre et l'élimination des sédiments contaminés ont généré des dommages à long terme résultant du piétinement, de la détérioration des systèmes racinaires et de l'érosion consécutive. L'élimination manuelle étroitement supervisée associée à l'utilisation de caillebotis afin d'éviter la compression du substrat, le brûlage contrôlé in-situ et la coupe de la végétation contaminée ont été mis en œuvre avec des issues différentes. La viabilité de la coupe ou du brûlage de la végétation souillée dépend de la période de l'année durant

lequel le déversement est survenu et du type d'hydrocarbure déversé. À la fin de l'année, lorsque la végétation dépérit, la coupe et le brûlage pourrait s'avérer moins dommageable qu'au printemps, lorsque de nouvelles pousses apparaissent. De manière générale, la coupe de la végétation n'a pas permis d'accélérer les taux de régénération sauf pour les cas de déversements de fioul lourd ou d'hydrocarbures bruts épais. Les brûlages contrôlés in-situ s'appliquent uniquement aux hydrocarbures légers et moyens dans la mesure où les hydrocarbures épais tendent à mal brûler. Le brûlage contrôlé est plus efficace lorsqu'il est mis en œuvre immédiatement après que l'hydrocarbure s'est échoué et avant que l'hydrocarbure ne pénètre dans le substrat du marais. Il est probable que l'hydrocarbure situé à l'intérieur du substrat résiste au brûlage. L'avantage du brûlage par rapport à la coupe réside dans le fait qu'il requiert moins d'intervention au sol, bien qu'il représente un risque plus important pour la faune vivante ou trouvant refuge au sein des marais, d'autant plus qu'il peut être difficile de contrôler l'incendie et de le confiner dans la zone souillée ; dans plusieurs cas de brûlage de végétation souillée de marais, des zones importantes de marais non souillées ont également été brûlées.

Restauration

Pour les marais salants et les mangroves, après que la contamination apparente a été éliminée et l'hydrocarbure résiduel a vieilli avec la dissipation des composés toxiques, le replantage a permis une augmentation des taux de régénération. Cependant, les programmes de replantage et notamment ceux concernant les mangroves, doivent être comparés au potentiel de recolonisation naturelle depuis les arbres survivants environnants. Ceci permet d'assurer le maintien de la biodiversité dominante de la mangrove et de la répartition écologique (par opposition au plantage de rangées d'une espèce unique).

Si, à la suite d'une telle évaluation, le replantage s'avérait être une mesure de régénération appropriée, il conviendra de se procurer des semis saines des espèces appropriées, soit depuis les zones intactes ou par culture des semis en pépinière. Les semis sont plantés en prenant soin de les entourer d'une grande quantité de sédiment intact de bonne qualité, afin de garantir une bonne croissance avant que les racines ne se développent jusqu'aux sédiments contaminés.

Les plages de sable

Les hydrocarbures enfouis

Alors que les hydrocarbures tendent à pénétrer plus facilement le sable sec et grossier, le sable fin forme des plages humides et compactes qui ne se prêtent guère à la pénétration de l'hydrocarbure. Cependant, comme mentionné ci-dessus, si de l'hydrocarbure est laissé à la surface de la plage et n'est pas éliminé en temps utile, il est susceptible d'être recouvert par le sable sous l'action du vent ou par l'ensablement naturel. Les profils de plage peuvent changer considérablement en l'espace de quelques heures dans des conditions maritimes spécifiques, avec des couches de sable d'un mètre ou plus pouvant être déplacées d'un site vers un autre. L'existence de quantités significatives d'hydrocarbure enfoui peut être établie en creusant un ensemble de trous d'exploration afin de se faire une idée de l'ampleur du phénomène. Une fois constatée, il convient de se demander dans un premier temps si les processus qui ont conduit à l'enfouissement de l'hydrocarbure sont susceptibles de provoquer son élimination rapide et si le sable sera déplacé plus rapidement dans le cadre des processus naturels que dans le cadre des opérations de nettoyage. Cela dépend des conditions météorologiques et en mer, mais aussi de l'existence d'un cycle prévisible de dépôt et d'accumulation. Si l'hydrocarbure était enfoui lors d'une tempête, il est probable qu'une autre tempête sera nécessaire pour l'éliminer ; c'est également dans de telles conditions que l'hydrocarbure libéré sera dispersé rapidement. Cependant, si la zone dans laquelle l'hydrocarbure est enfoui était vaste ou s'il était vraisemblable qu'il demeure enfoui sur la plage pendant un certain temps, et si des considérations environnementales, ou plus

probablement des considérations liées aux loisirs, justifiaient son élimination, il conviendra de cartographier son étendue et de procéder à son élimination.

La cartographie de l'hydrocarbure enfoui implique des observations méthodiques au moyen de transects établis au travers de la plage, perpendiculairement au bord de l'eau, lors des marées basses. Des trous sont creusés à des intervalles définis le long de chaque transect, ou une tranchée est creusée sur toute la longueur ; la présence d'un hydrocarbure, sa profondeur en-dessous de la surface et l'épaisseur de la couche d'hydrocarbure sont dûment consignés. La séparation entre les transects dépend de l'étendue estimée de la zone ; en outre, des nouveaux transects doivent être ajoutés si des veines d'hydrocarbure s'infiltrèrent entre les transects. En interpolant entre les transects, une représentation tridimensionnelle de l'hydrocarbure enfoui peut être élaborée (Figures 7 et 8).

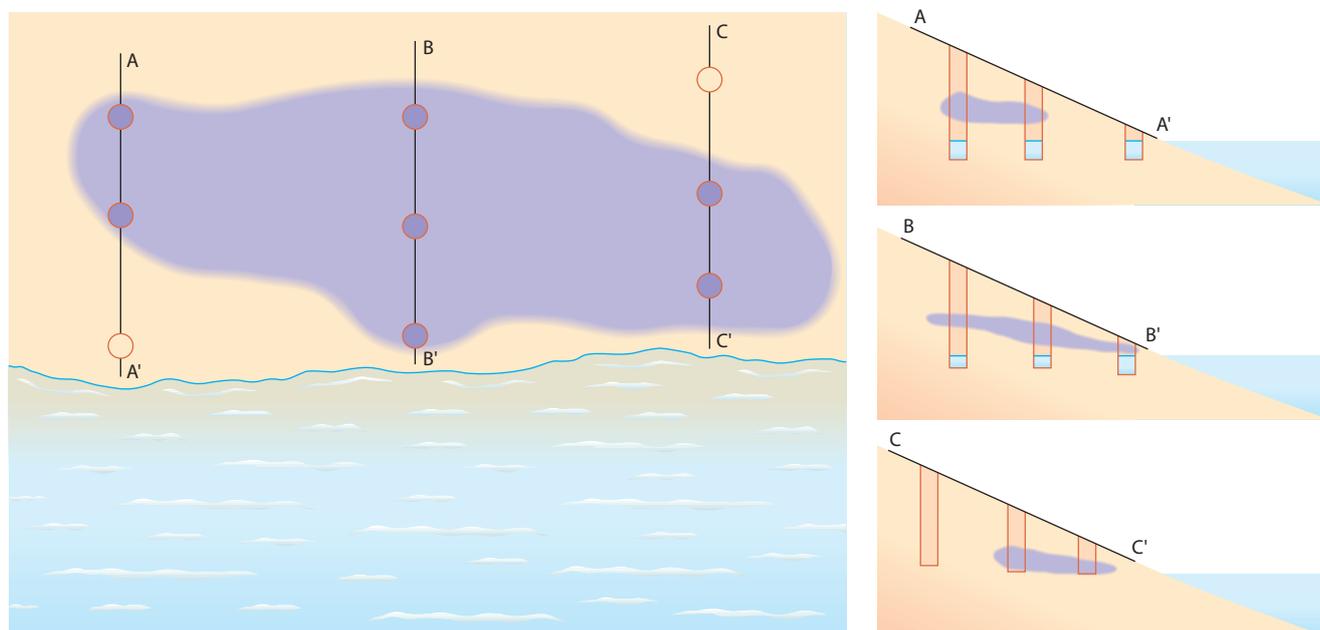
Les options d'élimination de l'hydrocarbure enfoui consistent notamment à retirer la couche intacte et la déposer sur le côté afin d'exposer la bande d'hydrocarbure enfoui afin de permettre sa collecte et son évacuation de la plage aux fins d'élimination. Une autre option consiste à transporter la bande d'hydrocarbure enfoui vers le bord de l'eau en vue de son lavage par surf washing. S'il est relativement proche de la surface, l'hydrocarbure peut être remobilisé via le hersage et le labourage, ou en utilisant des lances afin de le libérer et de le pousser vers le bord de l'eau où il pourra être récupéré à l'aide de récupérateurs et d'absorbants.



©Shutterstock.com

Collecte de l'hydrocarbure sur une plage de sable ; l'hydrocarbure laissé à la surface est susceptible d'être enfoui par le sable sous l'action du vent ou suivant un processus d'ensablement naturel.

Figure 7 Diagramme simplifié d'une observation d'hydrocarbure enfoui



Le cycle « échoué – coulé – échoué »

Une autre caractéristique couramment observée de l'hydrocarbure s'échouant sur des plages de sable grossier, particulièrement dans le cas d'hydrocarbures épais ou vieillis, est qu'ils pénètrent suffisamment pour former un agglomérat fragile d'hydrocarbure et de sable. Une élévation subséquente du niveau de l'eau provoquée par des tempêtes, les marées ou les vents côtiers est susceptible de déplacer des matériaux vers la mer où ils couleront en raison de la densité supplémentaire du sable incorporé. En fonction des conditions dans lesquelles il a été emporté du littoral, le mélange d'hydrocarbure et de sable est susceptible de demeurer dans la partie inférieure des eaux côtières. Par exemple, si l'hydrocarbure était déplacé de la plage pendant une tempête, les mêmes conditions en mer seront nécessaires pour le ramener vers le littoral. S'agissant des agglomérats moins stables, les températures plus élevées en journée et l'agitation consécutive au déferlement des vagues sur le littoral peuvent être suffisantes pour libérer une quantité d'hydrocarbure, lui permettant de flotter vers la surface de l'eau et de s'échouer de nouveau (Figure 9).

Pour rompre le cycle d'échouements, coulages et libérations récurrents de l'hydrocarbure, l'hydrocarbure doit être éliminé du système. Trois options existent en fonction de la profondeur de l'eau dans laquelle le mélange hydrocarbure/sable s'est déposé. L'option la plus simple consiste peut-être à éliminer systématiquement l'hydrocarbure dès qu'il s'échoue afin que, au fil du temps, la quantité d'hydrocarbure susceptible d'aller s'échouer diminue. Une seconde option, qui est plutôt applicable en eaux profondes, consiste à engager des plongeurs pour récupérer l'hydrocarbure manuellement depuis les fonds marins. Lors d'un accident durant lequel cette technique a été mise en œuvre, une nouvelle approche consistait à inciter à la récupération des matériaux les plus contaminés en indemnisant l'entreprise de plongée en fonction de la valeur calorifique du mélange hydrocarbure / sable récupéré. Une troisième solution consiste, si les conditions en mer et les profondeurs de l'eau le permettent, à utiliser des excavatrices semi-amphibies afin de soulever l'hydrocarbure ayant coulé près des côtes.

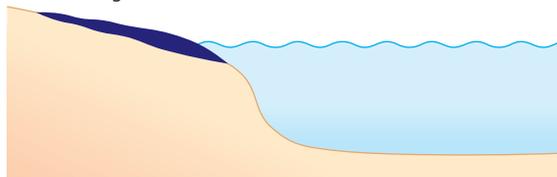
Les cailloux et les galets

Pénétration de l'hydrocarbure dans les littoraux de cailloux et de galets

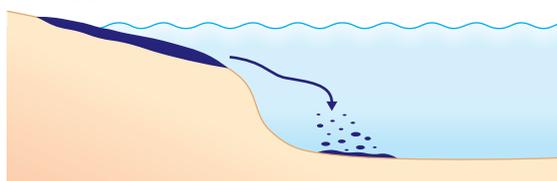
Il s'agit d'un des types de littoraux les plus difficiles à nettoyer car l'hydrocarbure et notamment les hydrocarbures plus légers comme les hydrocarbures bruts, sont en mesure de pénétrer profondément dans ce type de substrat. La structure libre permet à l'eau de se déplacer sans contraintes à travers le substrat et, à la baisse du niveau des eaux, l'hydrocarbure flottant à la surface de l'eau suit ce mouvement à travers les galets. Les littoraux très contaminés peuvent être rincés pour forcer l'écoulement de l'hydrocarbure liquide vers des tranchées ou d'autres points de collecte en vue de la récupération à l'aide de récupérateurs, de pompes et d'absorbants. Sur les côtes tidales exposées, une approche passive du nettoyage articulée autour des serpillères absorbantes composées de filets au maillage fin a été appliquée avec succès pour collecter les hydrocarbures les plus épais.

Figure 9 Le cycle « échoué – coulé – échoué »

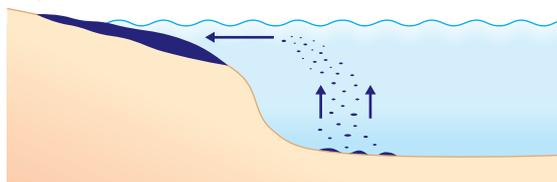
(a) échouement d'hydrocarbure épais sur une plage de sable grossier



(b) le mélange hydrocarbure / sable est emporté du littoral et coule



(c) Sous l'effet de l'agitation des vagues et des températures plus élevées, l'hydrocarbure est libéré et flotte à la surface pour s'échouer de nouveau sur le littoral



La technique la plus efficace de traitement de l'hydrocarbure qui a pénétré dans les galets est le lavage par surf washing, cependant, comme le nom l'implique, l'efficacité de la technique nécessite un littoral agité présentant une puissante action des vagues. L'hydrocarbure libéré est largement dispersé par l'interaction avec les particules minérales (*Oil-Mineral- Aggregate* (OMA) en anglais) cependant, de l'hydrocarbure non-aggloméré est également susceptible d'être libéré et devra être récupéré à l'aide d'absorbants. Comme la répartition des cailloux et des galets est déterminée par l'énergie des vagues à laquelle le littoral est exposé, il peut être nécessaire de répartir les grands cailloux et galets déjà nettoyés plus haut sur le littoral et à une certaine distance du bord de l'eau, afin de maintenir le profil initial du littoral.

Une autre approche qui est plus adaptée aux zones dans lesquelles l'action des vagues est moins vigoureuse consiste à utiliser des lances et à orienter les jets d'eau sur les substrats pour déloger l'hydrocarbure piégé entre les pierres. Cette technique est généralement combinée avec un rinçage à basse pression afin d'acheminer l'hydrocarbure libéré vers le bord de l'eau en vue de sa récupération.

Une technique alternative dans les zones où l'énergie des vagues est insuffisante pour permettre un surf washing consiste à transporter les galets souillés vers un site où les galets seront lavés en groupe dans des bétonnières. Si le matériau doit être retourné sur le même site après son lavage, il est important de s'assurer du suivi de chaque lot. Si le produit nettoyé est alors déposé au bord de l'eau, la texture grasse qui subsiste souvent après le déchargement de la bétonnière sera vite dissipée.

Les tentatives de lavage des cailloux et des galets dans le cadre d'un processus continu, plutôt que dans le cadre d'un traitement par lots, au moyen d'une installation industrielle de traitement des minéraux, ont rencontré un succès mitigé avant tout en raison des difficultés provoquées par l'accumulation de fines particules de sable. En outre, les équipements sont volumineux et donc difficiles à déplacer après avoir été installés. Même si les difficultés pratiques étaient surmontées, le transport entre la source des matériaux à laver et l'installation de traitement déterminera si l'approche est viable.

Revêtements d'asphalte

L'hydrocarbure échoué sur une plage de galets peut, après son vieillissement, se transformer en revêtement d'asphalte ainsi nommé car l'agglomérat d'hydrocarbure altéré et de galets forme une surface persistante rappelant le macadam. Il est résistant à l'action des vagues, si bien que l'hydrocarbure situé en-dessous de cette couche protectrice est piégé à l'intérieur du substrat de la plage où il est susceptible de demeurer dans le même état presque indéfiniment. La dégradation de l'hydrocarbure surviendra lentement dans la mesure où il n'est exposé ni à l'air, ni à la lumière. Une fois la couche de surface brisée, et si nécessaire déplacée en vue de son élimination, l'hydrocarbure situé dans la couche sous-jacente peut-être rincé ou le matériel transporté vers un poste de lavage en vue de son traitement.

Les falaises et les baies rocheuses

Dans de nombreux cas, la base d'un front de falaise n'est que très difficilement accessible et peut représenter un environnement de travail extrêmement dangereux. Généralement, les falaises et les baies rocheuses inaccessibles sont très exposées si bien qu'il est judicieux de les laisser se nettoyer naturellement sauf si des raisons impérieuses s'y opposaient. À moins que l'hydrocarbure ait été projeté à des hauteurs extrêmes dans des conditions météorologiques exceptionnelles et qu'il ne puisse dès lors être atteint par la mer dans des conditions normales, les tâches résiduelles devraient s'estomper significativement après deux ou trois cycles saisonniers. Cependant, si le nettoyage s'avère nécessaire, par exemple en raison d'enjeux environnementaux spécifiques, de l'accessibilité au public ou de la visibilité depuis les sites de loisirs importants sur le plan commercial, il conviendra de faire preuve d'extrêmes précautions en matière de sécurité. De telles précautions sont vitales dans la gestion des

dangers comme la chute de pierres ou le risque d'encerclement par la marée ou des vagues puissantes, ou tout simplement afin de s'assurer que le personnel puisse être secouru en toute sécurité en cas de blessures au travail.

Le ramassage des ordures dans une telle zone constitue une préoccupation supplémentaire. Si un accès à pied est possible, les déchets mis en sac peuvent être passés de main en main dans une chaîne humaine. En fonction de la configuration du front de falaise ou de la baie rocheuse, la mise en place d'une tyrolienne pourrait constituer une alternative possible ; en outre, une grue située au sommet de la falaise peut être utilisée pour faire descendre le personnel sur le chantier et pour extraire les déchets contaminés. Dans le cas où une quantité substantielle de déchets devrait être éliminée, une approche depuis la mer devra être envisagée ; cependant, même dans des conditions météorologiques clémentes, la houle peut représenter un risque important, notamment eu égard aux rochers submergés, fréquents au pied des falaises. Des hélicoptères de transport lourd ont été utilisés en l'absence d'autres options. Cependant, en raison des contraintes inhérentes à la récupération des déchets par les airs ou la mer, et pour garantir une utilisation efficace de ces ressources, la récupération des déchets devra, dans la mesure du possible, s'effectuer en une seule fois. Il convient en outre de sélectionner un site approprié sur lequel les déchets peuvent être rassemblés et stockés en toute sécurité jusqu'à leur collecte ; un tel site doit être accessible depuis la mer ou les airs en fonction de l'option choisie.

Les ports

L'une des principales préoccupations lors des activités dans les ports, est que le nettoyage soit géré de façon à minimiser les perturbations des activités portuaires. Cependant, une fois l'hydrocarbure en vrac flottant dans un port récupéré, le nettoyage des parois des quais sera, en principe, relativement facile. D'autre part, la tâche peut être plus difficile lorsque l'hydrocarbure dérive sous des quais suspendus ou sur pilotis.

L'hydrocarbure mobile migrant en-dessous des quais est susceptible de constituer une source de contamination et d'irisation continue, sous l'action des courants générés par les mouvements des navires. Il est possible de positionner les bateaux d'une façon spécifique et d'utiliser les hélices pour repousser l'hydrocarbure libre situé sous le quai afin de permettre sa récupération depuis la surface de l'eau. Les résidus persistants peuvent nécessiter une intervention physique. Si les équipes de nettoyage sont en mesure d'accéder à la zone située en-dessous du quai, il convient de bien évaluer certaines difficultés comme celles liées à la ventilation et aux marées montantes et descendantes. Dans les zones présentant d'importantes amplitudes de marée, il peut être possible de travailler depuis la surface de l'eau à certaines phases de la marée ou depuis des plateformes hydrauliques (par ex. des nacelles articulées pouvant se déployer au-dessous du niveau de l'unité de base) opérant depuis la partie supérieure du quai.

Dans les ports, le lavage à haute pression d'eau chaude constitue pratiquement l'unique technique utilisée pour nettoyer les hydrocarbures résiduels des quais et des postes d'accostage en combinaison avec des barrages côtiers, des récupérateurs ou des absorbants afin de confiner l'hydrocarbure libéré. Cependant, comme pour l'élimination de l'hydrocarbure sur les structures en béton, l'eau chaude appliquée à haute pression peut également permettre d'éliminer la couche protectrice superficielle, exposant les matériaux moins résistants situés en-dessous. Il est dès lors conseillé d'ajuster les températures et les pressions dans une zone d'essai avant d'entreprendre une opération à grande échelle.

Dans de nombreux ports, des résidus variés comme les mélanges de sédiments, d'algues et d'anciens résidus souillés tendent à s'accumuler le long de la ligne d'eau aux mêmes endroits que l'hydrocarbure déversé. Lorsque l'hydrocarbure est éliminé par recours à la technique de lavage à haute pression d'eau

chaude, ces dépôts tombent dans l'eau, coulent, et peuvent devenir une source d'irisation persistante. Afin d'éviter cela, il est conseillé d'avoir recours à des filets, des barrières d'absorbants ou un dispositif de gouttière afin de capturer ces matériaux ainsi lessivés.

Les débris marins souillés, comme les mollusques et les algues incorporés aux surfaces des structures portuaires ou sous les quais, peuvent également constituer une source d'irisation continue. S'ils sont accessibles, ces encrassements biologiques peuvent en principe être grattés sans trop de difficultés, l'hydrocarbure étant éliminé au passage. Comme mentionné ci-dessus, le matériel éliminé de cette façon doit être capturé avant de tomber dans l'eau, par exemple à l'aide de filets ou en travaillant depuis un ponton flottant sur lequel les débris qui tombent peuvent être collectés et mis en sac.

Les protections côtières

La grande variété de protections côtières, comme les rochers brisés ou les enrochements, les tas de pierre, les gabions, les blocs de béton de différents types (tétrapodes, dolos, xblocs, acropodes, etc.) qui sont utilisés pour construire des revêtements ou des brise-lames sont très difficiles à nettoyer. Elles sont conçues pour absorber l'énergie des vagues en constituant une barrière perméable, permettant à l'eau de passer tout en dissipant son énergie. Malheureusement, cela permet aussi à tous les types de déchets flottant à la surface de se loger à l'intérieur des structures ouvertes et à l'hydrocarbure flottant de se déplacer librement à l'intérieur de la protection. Les débris piégés agissent comme des matériaux absorbants, retenant l'hydrocarbure et constituant une source continue de libération de l'hydrocarbure et d'irisation qui s'estompera lentement avec le temps.

En mettant en œuvre les mesures appropriées de sécurité (par ex. identifier le risque de chute sous l'action des vagues, de glissement sur les surfaces souillées et de chute dans les trous situés entre les blocs), la face extérieure de ces structures peut être nettoyée avec un lavage à haute pression. Cependant, le nettoyage à l'intérieur des structures s'avère bien plus difficile. Lorsqu'il est possible de pénétrer en toute sécurité dans la structure, il peut être possible d'enlever la plupart des débris contaminés, et donc d'éliminer la source d'écoulement de l'hydrocarbure. Même après l'élimination de la plupart des débris, une quantité d'hydrocarbure persistant peut continuer de s'écouler pendant un certain temps. Des lances de rinçage peuvent être utilisées pour chasser l'hydrocarbure hors de la structure ; dans les climats tempérés à l'approche de l'été, une approche passive pourra être envisagée dans la mesure où les températures plus élevées de la mer facilitent le rinçage naturel de l'hydrocarbure persistant. Il peut être judicieux de laisser l'hydrocarbure libéré se dissiper naturellement ou d'utiliser un dispositif d'absorbants pour le récupérer.

La technique de nettoyage sélectionnée dépendra du degré de contamination et du niveau d'irisation produit, mais avant tout des types de services fournis par le littoral adjacent. Le nettoyage passif à l'aide d'absorbants est susceptible de constituer une solution appropriée dans certaines circonstances, cependant, dans les situations dans lesquelles les irisations affectent un prestigieux complexe touristique ou un centre d'aquaculture, il peut être judicieux d'envisager des mesures plus radicales. Dans des circonstances extrêmes, une option consiste à démonter la structure durant l'été, lorsque le besoin en termes de protection côtière est moins impérieux et de transférer les pièces vers un poste de nettoyage ; après le nettoyage, les pièces peuvent être restituées puis de nouveau assemblées. La viabilité économique de cette méthode dépend du risque de conséquences commerciales significatives qui devront être mis en balance avec le coût d'une telle opération. Dans les pays où les protections côtières constituent une partie importante de l'infrastructure côtière et que la manipulation de blocs est effectuée régulièrement, il est probable que les équipements nécessaires seront facilement disponibles si bien que les coûts pourraient ne pas être prohibitifs. Cependant, dans de nombreux pays, l'installation de protections côtières représente une opération exceptionnelle de génie civil d'une importance considérable, le coût de démontage étant dans de telles conditions considéré comme disproportionné.

Résumé

Le nettoyage du littoral constitue l'aspect de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures le plus visible, son succès dépendant souvent de la façon dont il perçu par le public. Cela dépend en général de la capacité de l'équipe de gestion de l'accident à interagir et communiquer avec le public et les médias, et à expliquer les mesures mises en œuvre et fournissant des informations actualisées sur les progrès mais aussi sur les revers subis. Dans de nombreuses situations, l'intérêt du public se focalisera sur les effets du déversement sur l'environnement et les efforts déployés en vue de la réhabilitation de la faune souillée. L'équipe de gestion de l'accident devra déployer tout autant d'efforts pour définir les stratégies de lutte appropriées, gérer les bénévoles, et superviser de manière efficace une main d'œuvre importante et les différents types d'équipements nécessaires pour nettoyer le littoral.

Les techniques de nettoyage sélectionnées doivent être étayées par une NEBA qui fournit un processus de mise en regard des préoccupations écologiques face aux sollicitations du littoral pour les activités humaines. Dans le cadre de la NEBA, les techniques susceptibles d'obtenir une note élevée sont celles permettant de réduire les quantités de déchets devant être éliminées ; il s'agit souvent des techniques impliquant une collecte manuelle plutôt que mécanique du sédiment contaminé. Dans les conditions appropriées, les techniques ne prônant pas la collecte de l'ensemble des matériaux de la plage, comme le surf washing, sont susceptibles d'obtenir des notes plus élevées.

Les aptitudes et les capacités de l'équipe de gestion seront pleinement testées pour atteindre les critères de validation convenus et pour parvenir à un consensus sur l'arrêt des opérations de lutte menées sur le littoral. Les autorités et leurs représentants participant à la lutte contre un déversement devront prendre acte de telles pressions. Finalement, une lutte réussie et efficace nécessite l'implication de toutes les parties concernées contribuant de manière active et constructive à la lutte et poursuivant l'objectif commun de réduction de l'impact du déversement d'hydrocarbure, que ce soit sur l'environnement ou sur les communautés touchées.

Références

Alejandro, Cdr. Anthony C. and Buri, Lt. Cdr. Jack L. (1987). M/V Alvenus: Anatomy of a Major Oil Spill. In *International Oil Spill Conference Proceedings*, April 1987, Vol. 1987, No. 1, pp. 27–32.
doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1987-1-27>

Cedre (2006). *Reconnaissance de sites pollués par des hydrocarbures : Guide opérationnel sur l'évaluation de la pollution du littoral*. 42p Centre de documentation, de recherche et d'expérimentation sur la pollution accidentelle des eaux. <http://wwz.cedre.fr/en/Our-resources/Documentation/Operational-guides/Surveying-Sites>

Cedre (2013a). *Oiled Shoreline Cleanup Manual*. 62 p. Préparé par le Cedre (Centre de documentation, de recherche et d'expérimentation sur la pollution accidentelle des eaux), en collaboration avec tous les partenaires du projet, pour le projet POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline Cleanup and Oiled Wildlife Interventions), un projet coordonné par le Centre régional de la lutte d'urgence contre la pollution marine pour la mer Méditerranée (REMPEC). www.posow.org/documentation/manual

Davies, J. M. and Topping, G. (editors) (1997). *The impact of an oil spill in turbulent waters: The Braer*. Proceedings of a symposium held at the Royal Society of Edinburgh, 7–8 September 1995. Stationery Office, Edinburgh, UK.

IPIECA/IMO/IOGP (2012). *Sensitivity mapping for oil spill response*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 477. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2012). *Oil spill responder health and safety*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 480. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014a). *Exercices de réponse aux déversements d'hydrocarbures*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 515. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014b). *A guide to oiled shoreline assessment (SCAT) surveys*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport 504 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014c). *Élaborer une stratégie de lutte sur le fondement d'une analyse des avantages environnementaux nets (NEBA)*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 527. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014d). *Réduction et gestion des déchets des hydrocarbures déversés*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 507. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015a). *Contingency planning for oil spills on water*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 519. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015b). *At-sea containment and recovery*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 522. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2016). *Incident management system for the oil and gas industry*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 517. <http://oilspillresponseproject.org>

ISPRA (2013). *Oil Spill Volunteer Management Manual*. 56 p. Préparé par l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), en collaboration avec tous les partenaires du projet, pour le programme POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline Cleanup and Oiled Wildlife Interventions), un projet coordonné par le Centre régional de la lutte d'urgence contre la pollution marine pour la mer Méditerranée (REMPEC). www.posow.org/documentation/manual

MCA (2007). *The UK SCAT Manual—Shoreline Cleanup Assessment Technique: A Field Guide to the Documentation of Oiled Shorelines in the UK*. Adapted and reproduced from Owens, E. H. and Sergy, G. A. (2004), *The Arctic SCAT Manual: A Field Guide to the Documentation of Oiled Shorelines in Arctic Environments*. Environment Canada, Edmonton, AB, Canada, by Jon Moore, Coastal Assessment, Liaison & Monitoring for the UK Maritime & Coastguard Agency. Avril 2007.

Moller, T. H., Parker, H. D. and Nichols, J. A. (1987). Comparative Costs of Oil Spill Cleanup Techniques. In *International Oil Spill Conference Proceedings*, April 1987, Vol. 1987, No. 1, pp. 123-127. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1987-1-123>

NOAA (2015). *M/V Alvenus*. Incident News website, National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://incidentnews.noaa.gov/incident/6267>

Sell, D., Conway, L., Clark, T., Picken, G. B., Baker, J. M., Dunnet, G. M., McIntyre, A. D. and Clark, R. B. (1995). Scientific Criteria to Optimize Oil Spill Cleanup. In *International Oil Spill Conference Proceedings*, February–March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 595-610. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-595>

Teal, J. M., Farrington, J. W., Burns, K. A., Stegeman, J. J., Tripp, B. W., Woodin, B. and Phinney, C. (1992). The West Falmouth oil spill after 20 years: Fate of fuel oil compounds and effects on animals. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 24, Issue 12, pp. 607–614. www.sciencedirect.com/science/article/pii/0025326X9290281A

Lectures recommandées

American Petroleum Institute (2013). *Oil Spills in Marshes. Planning and Response Considerations*. Rapport Technique API 1146. 102 p. www.oilspillprevention.org/~media/oil-spill-prevention/spillprevention/r-and-d/shoreline-protection/1146-oil-spills-in-marshes.pdf.

Cedre (2013). *Oiled Shoreline Assessment Manual*. 48 p. Préparé par le Cedre (Centre de documentation, de recherche et d'expérimentation sur la pollution accidentelle des eaux), en collaboration avec tous les partenaires du projet, pour le programme POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline Cleanup and Oiled Wildlife Interventions), un projet coordonné par le Centre régional de la lutte d'urgence contre la pollution marine pour la mer Méditerranée (REMPEC). www.posow.org/documentation/manual

- Dicks, B., Parker, H., Purnell, K. and Santner, R. (2002). *Termination of Shoreline Cleanup – A Technical Perspective*. Document présenté au séminaire du CEDRE, 'Technical Lessons Learnt from the Erika Incident and Other Spills', 13-15 mars 2002, Brest, France. www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/document/termination-of-shoreline-cleanup-a-technical-perspective-2002
- Environment Canada (2010). *A Field Guide to Oil Spill Response on Marine Shorelines*. Préparé pour Environment Canada par E. H. Owens et G. A. Sergy. 223 p.
- Environment Canada (2007). *Guidelines for Selecting Shoreline Treatment Endpoints for Oil Spill Response*. Préparé pour Environment Canada par G. A. Sergy et E. H. Owens. 27 p. http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En4-84-2008-eng.pdf
- Communauté européenne (2006). Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160 /CEE.
- Foundation for Environmental Education (FEE) (2014). *Critères du Pavillon Bleu pour les communes et les plages*. www.blueflag.org/menu/criteria/beaches/beach-criteria-and-expl-notes-2014.
- IMO (2009). *Manuel OMI/PNUE sur l'évaluation des dommages causés à l'environnement par les déversements d'hydrocarbures en mer et la restauration du milieu* www.witherbyseamanship.com/imounep-guidance-manual-2009-560.html
- Oil Spill Response Limited (2015). *Inland Operations Field Guide*. www.oilspillresponse.com/technical-library/inland-operations-field-guide
- Oil Spill Response Limited. *Shoreline Operations Field Guide*. www.oilspillresponse.com/technical-library/shoreline-operations-field-guide
- ITOPF Guides d'Informations Techniques 1 à 17. www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/technical-information-papers
- Tucker, A. et O'Brien, M. (2011). Volunteers and Oil Spills – A Technical Perspective. In *International Oil Spill Conference Proceedings*, March 2011, Vol. 2011, No. 1, pp. abs273. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-273>.

Annexe 1 : Exemple de formulaire d'inscription de bénévole

Informations sur le bénévole

Date d'enregistrement (JJ/MM/AA) :
Heure :

Nom et prénom :
Adresse :
Courriel :
Numéro de téléphone : Domicile : Téléphone mobile : Bureau :

Affecté à l'équipe : Affecté aux tâches :

Disponibilité : (précisez la période)

Compétences et formation

Est-il membre d'une organisation ? (précisez) :
Profession :
Formation antérieure :

Informations médicales

Allergies	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> oui, précisez		
Exigences nutritionnelles	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> oui, précisez		
Maladies chroniques spécifiques	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> oui, précisez		
Groupe sanguin	<input type="checkbox"/> A+ <input type="checkbox"/> A-	<input type="checkbox"/> B+ <input type="checkbox"/> B-	<input type="checkbox"/> AB+ <input type="checkbox"/> AB-	<input type="checkbox"/> O+ <input type="checkbox"/> O-
Vaccination	<input type="checkbox"/> Tétanos <input type="checkbox"/> Hépatite B	<input type="checkbox"/> Polio <input type="checkbox"/> Rage	<input type="checkbox"/> Hépatite A	

Médecin de famille

Nom et prénom :
Adresse :
.....
Numéro de téléphone :

Personne à contacter
en cas d'urgence

Nom et prénom :
Lien :
Adresse :
.....
Numéro de téléphone :

Droits à l'image

Dans le cadre de mon action en tant que bénévole, je suis susceptible d'être photographié ou filmé à des fins non commerciales, à des fins pédagogiques ou de suivi de chantier. J'accepte de céder à mes droits à l'image en cochant cette case

Enregistré par

Nom et prénom (autorité) :
Date et lieu :
Signature :

Le bénévole

Nom et prénom (bénévole) :
Date et lieu :
Signature :

Annexe 2 : Exemple de fiche de chantier quotidienne

UNE FICHE PAR CHANTIER

COMMUNE :

SITE :

DATE :

doit être envoyée chaque soirnuméro de télécopie :courriel :

PERSONNEL		TECHNIQUES ^[2]	ÉQUIPEMENTS UTILISÉS			DÉCHETS POLLUÉS		COMMENTAIRES SUPPLÉMENTAIRES	BESOINS RESENTIS POUR LE LENDEMAIN
NOMBRE	ORIGINE ^[1]		QUANTITÉ	TYPE ^[3]	ORIGINE ^[1]	QUANTITÉ ^[m3]	NATURE ^[4]	INCIDENTS, PANNES, ÉQUIPE CHANGEMENTS	PERSONNEL/ÉQUIPEMENT

ORIGINE ^[1]		TECHNIQUES ^[2]	TYPE D'ÉQUIPEMENT ^[3]			NATURE DES POLLUANTS ^[4]
Équipement*	Personnel*		Matériel lourd	Matériel spécifique	Produits jetables	
Commune Inter communalité, unités de sapeurs-pompiers, réserves situées à proximité... Protection civile. Armée, privé* Autre*	idem origine équipement + • SP départementaux • SP autres départements • Réserves communales • Bénévoles	Ramassage manuel Criblage mécanique du sable Lavage sous pression	Engins de terrassement (par ex. excavatrice) Engins agricoles (e.g. tracteur, remorque...) Moyens d'approvisionnement en eau Tyrolienne, moyens nautiques. Autre*	Barrages, récupérateurs Cribleuses, nettoyeur haute pression, pompe de transfert, lance impact Stockage : bacs, cuves, grands sacs ... pompes d'aspiration...	Géotextile, absorbants produits nettoyants Autre*	Liquide à pâteux Solides fortement pollués Solides faiblement pollués Galets pollués Absorbants/filets pollués Algues polluées Déchets pollués

* Préciser

Remerciements

Le présent document a été rédigé par Hugh Parker (Marine Pollution Technical Advisory Services) sous la supervision du Shoreline Cleanup Cohort. Nous les remercions pour nous avoir fait part de leur expertise, leur contribution et leurs conseils dans la rédaction du présent document.

IPIECA

L'IPIECA est l'association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement et les questions sociales. Elle développe, diffuse et promeut les bonnes pratiques et les connaissances afin de permettre à l'industrie d'améliorer son impact sur l'environnement et la société ; elle constitue le principal canal de communication de l'industrie avec les Nations-Unies. Grâce à ses groupes de travail conduits par les membres et à sa direction, l'IPIECA mobilise l'expertise collective des entreprises et associations pétrolières et gazières. Sa position unique dans l'industrie permet à ses membres de répondre efficacement aux enjeux essentiels environnementaux et sociaux.

www.ipieca.org



L'IOGP représente l'industrie des hydrocarbures en amont des organisations internationales, y compris l'Organisation maritime internationale, le Programme environnemental des Nations Unies (UNEP), les Conventions régionales dans le domaine marin et les autres groupes sous l'égide des Nations-Unies. Au niveau régional, l'IOGP représente l'industrie auprès de la Commission européenne, du Parlement européen et de la Commission OSPAR pour l'Atlantique Nord-Est. L'IOGP intervient de manière tout aussi importante dans la promotion des meilleures pratiques, en particulier dans les domaines de la santé, de la sécurité, de l'environnement et de la responsabilité sociale.

www.iogp.org



Impacts des déversements d'hydrocarbures sur le littoral

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en
matière de gestion des accidents et du personnel
d'intervention d'urgence



IPIECA

Association Internationale de l'industrie pétrolière pour la Protection de l'Environnement

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 7633 2388 Télécopieur : +44 (0)20 7633 2389
Courriel : info@ipecica.org Internet : www.ipecica.org



Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP)

Siège social

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 3763 9700 Télécopieur : +44 (0)20 3763 9701
Courriel : reception@iogp.org Internet : www.iogp.org

Bureau de Bruxelles

Boulevard du Souverain 165, 4^e étage, B-1160 Bruxelles, Belgique
Téléphone : +32 (0)2 566 9150 Télécopieur : +32 (0)2 566 9159
Courriel : reception@iogp.org

Bureau de Houston

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, États-Unis
Téléphone : +1 (713) 470 0315 Courriel : reception@iogp.org

Rapport 534 de l'IOGP

Date de publication : 2016

© IPIECA-IOGP 2016 Tous droits réservés.

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système d'extraction ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, mécanique, photocopie, par enregistrement ou autre, sans le consentement écrit préalable de l'IPIECA.

Exonération de responsabilité

Bien que tous les efforts possibles aient été fournis pour assurer l'exactitude des informations contenues dans cette publication, ni l'IPIECA, ni l'IOGP, ni aucun de leurs membres passés, présents ou futurs ne garantissent leur exactitude ou n'assument la responsabilité d'une quelconque utilisation prévisible ou imprévisible de cette publication, même en cas de négligence de leur part. Par conséquent, ladite utilisation se fait aux risques et périls du destinataire, avec la convention que toute utilisation par le destinataire constitue un accord avec les conditions de cet avertissement. Les informations contenues dans cette publication ne prétendent pas constituer des conseils professionnels de différents contributeurs de contenu, et ni IPIECA, ni l'IOGP ni ses membres n'acceptent quelque responsabilité que ce soit pour les conséquences de l'utilisation ou la mauvaise utilisation de la présente documentation. Ce document peut fournir des indications qui viennent compléter les exigences de la législation locale. Cependant, rien dans les présentes n'est destiné à remplacer, modifier, abroger ou autrement déroger à ces exigences. En cas de conflit ou de contradiction entre les dispositions de ce document et la législation locale, les lois applicables prévaudront.

Impacts des déversements d'hydrocarbures sur le littoral

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en matière de gestion des accidents et du personnel d'intervention d'urgence

Préface

Cette publication fait partie de la série des Guide des bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, qui résume les opinions actuelles en matière de bonnes pratiques sur des sujets variés relatifs à la préparation et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures. Cette série vise à aider à aligner les pratiques et les activités du secteur, à informer les parties prenantes et à servir comme outil de communication pour promouvoir la sensibilisation et l'éducation.

Elle met à jour et remplace la célèbre « Oil Spill Report Series » de l'IPIECA, publiée entre 1990 et 2008. La série de guides couvre des sujets qui sont applicables aux activités d'exploration comme de production, ainsi qu'aux activités de transport maritime ou terrestre.

Les révisions sont entreprises dans le cadre du Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (le JIP, « Oil Spill Response Joint Industry Project »). Le JIP a été créé en 2011 pour valoriser les enseignements en matière de la préparation et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures, suite à l'accident de contrôle de puits d'avril 2010 dans le golfe du Mexique.

Remarque sur les bonnes pratiques

Les « Bonnes pratiques » dans le contexte du JIP sont l'énoncé de directives, de pratiques et de procédures internationalement reconnues qui permettront à l'industrie du pétrole et du gaz d'assurer des performances acceptables en matière de santé, de sécurité et d'environnement.

Les bonnes pratiques pour un sujet particulier changeront au fil du temps à la lumière des progrès de la technologie, de l'expérience pratique et des connaissances scientifiques, ainsi que des changements dans l'environnement politique et social.

Table des matières

Préface	2	Traitement et restauration du littoral	36
Introduction	4	En fonction des options de lutttes envisagées (NEBA)	36
Écosystèmes littoraux et services écosystémiques	4	Principales options de nettoyage	38
Objectifs du document	4	Restauration environnementale du littoral	43
Arrivage des hydrocarbures sur le littoral : devenir, persistance et élimination naturelle	6	Évaluation et surveillances des littoraux souillés	45
Indice de sensibilité environnementale (ESI)	12	Distribution et quantification des hydrocarbures contaminant le littoral	45
Impacts écologiques des hydrocarbures sur le littoral	14	Évaluation et surveillance des impacts sur les communautés et le biote	46
Organismes vivants du littoral et sensibilité aux hydrocarbures	14	Bibliographie	48
<i>Plantes et invertébrés du littoral</i>	15	Manuels et documents d'orientation	48
<i>Vertébrés du littoral</i>	17	Littérature sur le devenir et les effets des hydrocarbures	49
Côtes rocheuses	19	Sites internet utiles	52
Côtes sédimentaires	22	Remerciements	53
Marais salants	26		
Mangroves	33		
Récifs coralliens	35		

Introduction

Écosystèmes littoraux et services écosystémiques

Les écosystèmes littoraux englobent une grande variété d'habitats : des rochers escarpés, des galets ou du sable sur des côtes exposées ou encore des vasières, des marais littoraux ou des mangroves denses dans les estuaires ou autres zones abritées. Ils sont colonisés par un grand nombre d'espèces végétales et animales. Ils fournissent des nutriments et servent d'abri à de nombreuses autres espèces. Les écosystèmes voisins et l'environnement dans son ensemble en tirent également un grand nombre de bénéfices. Les nombreux bénéfices que l'Homme tire de ces habitats et de ces communautés sont qualifiés de services écosystémiques.

Les habitats littoraux se caractérisent par une productivité biologique élevée (désignant la quantité de matière organique produite par les plantes et les animaux), parfois si importante qu'elle peut avoir un impact considérable sur les écosystèmes marins situés à proximité. Il s'agit principalement de matières végétales en décomposition et d'œufs, de spores et de larves.

Outre la grande variété de plantes, d'algues et d'invertébrés, qui peuplent habituellement les littoraux, de nombreux autres vertébrés s'appuient sur les ressources littorales. De nombreux oiseaux, poissons, mammifères et reptiles parcourent le littoral pour se nourrir de la grande variété d'organismes qui y vivent. Certaines espèces, comme les tortues et de nombreux poissons, pondent leurs œufs dans les habitats littoraux. Les autres, comme les phoques, les morses et de nombreux oiseaux y accostent et s'y reposent. Certains littoraux, notamment les mangroves et les marais salants, constituent des zones de reproduction importantes pour de nombreux poissons y compris les espèces commerciales, abritant, protégeant et fournissant la nourriture nécessaire aux juvéniles durant leur croissance jusqu'à l'âge adulte.

Le littoral assure la protection naturelle des côtes contre les effets de la mer. Tout particulièrement, les mangroves et les marais salants constituent une zone tampon dynamique située entre les terres et la mer, assurant une protection contre les inondations et l'érosion. Les autres services importants que les humains obtiennent du littoral incluent le traitement de l'eau (élimination des contaminants, des éléments nutritifs et des sédiments qui s'écoulent sur les terres), les ressources halieutiques (et notamment de crustacés), l'aquaculture (et notamment les crustacés et les algues), les loisirs, la culture et le potentiel esthétique.

Les déversements d'hydrocarbure provoqués par les bateaux, les infrastructures d'exploration et de production offshore, les pipelines et les installations situées sur terre peuvent constituer une menace pour le littoral. Comme la plupart des hydrocarbures flottent et les nappes d'hydrocarbures se déplacent sous l'effet des vents et des courants, il est souvent possible que les hydrocarbures déversés atteignent le littoral. La contamination du littoral par les hydrocarbures peut avoir un impact sur les diverses fonctions et les services fournis par ces habitats ainsi qu'un impact sur les populations des espèces liées aux littoraux affectés.

Objectifs du document

Le présent document fournit un aperçu des impacts des déversements d'hydrocarbures sur les ressources et fonctions du littoral et de la vitesse de régénération de ces ressources et fonctions. Il traite des caractéristiques des habitats et des espèces de l'estran (à savoir la zone qui se situe au-dessus de la surface pendant les marées basses et sous les eaux pendant les marées hautes aussi appelé zone de marnage ou zone intertidale) des côtes et estuaires. S'appuyant sur des preuves scientifiques documentées, y compris des références à des études précises, ce document est destiné à la communauté chargée de la lutte, qui se compose des opérateurs, des gouvernements, des entreprises et du public.

La première section, intitulée *Arrivée des hydrocarbures sur le littoral : devenir, persistance et élimination naturelle*, décrit l'évolution des hydrocarbures sur les différents types de littoraux et les caractéristiques pertinentes en matière d'impacts et de régénération. L'accent est mis sur les caractéristiques et les processus ayant un impact sur la persistance de l'hydrocarbure et qui auront vraisemblablement une influence sur les effets à long terme.

La section sur les *Impacts écologiques des hydrocarbures sur le littoral* fournit une description générale de la sensibilité des différents organismes littoraux aux hydrocarbures, ainsi qu'une description des impacts, de la résilience, et des vitesses de régénération spécifiques à chaque type d'habitat et des principaux facteurs qui les gouvernent.

La troisième section, intitulée *Traitement et restauration du littoral*, analyse les bonnes pratiques actuelles en matière de nettoyage du littoral et la façon dont elles sont conçues pour optimiser les bénéfices écologiques et économiques. Des exemples de projets passés de restauration viennent illustrer les descriptions des avantages et inconvénients des principales options de traitement.

La quatrième section, sur *l'Évaluation et la surveillance des littoraux contaminés*, présente les approches et exigences principales en matière d'évaluation des impacts, en mettant l'accent sur la technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT).

Enfin, la section *Bibliographie* fournit une liste des références les plus importantes et des publications traitant de ce sujet.

La série des Guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP (GPG) inclut d'autres titres, et notamment le GPG sur les *Impacts des déversements d'hydrocarbures sur l'écologie marine* (IPIECA-IOGP, 2015a) qui propose une analyse approfondie des impacts des déversements d'hydrocarbures en mer. D'autres titres connexes abordent des thèmes comme l'analyse des bénéfices écologiques et économiques en fonction des options de lutte (IPIECA-IOGP, 2015b), de la cartographie des zones vulnérables dans le cadre de la lutte contre les déversements d'hydrocarbure (IPIECA/IMO/IOGP, 2012) et de la technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) (IPIECA-IOGP, 2014). Pour un exposé des impacts des déversements d'hydrocarbures sur les terres/les rives d'eau douce et notamment celles des lacs et des rivières, veuillez consulter le Guide de bonnes pratiques sur les opérations de lutte à terre (IPIECA-IOGP, 2015c).

Arrivage des hydrocarbures sur le littoral : devenir, persistance et élimination naturelle

Les hydrocarbures bruts et la plupart des produits pétroliers constituent des mélanges complexes d'hydrocarbures (pour les besoins du présent document le terme hydrocarbure est utilisé de manière générique pour désigner tous ces composés organiques) dont le poids moléculaire ainsi que les caractéristiques physiques et chimiques sont susceptibles de varier. Les hydrocarbures déversés dans l'environnement marin sont exposés à un ensemble de processus qui modifient rapidement et progressivement sa nature et le redistribuent dans les autres compartiments de l'environnement. Les caractéristiques des différents hydrocarbures et les processus d'évolution des hydrocarbures qui surviennent en mer sont décrits dans le Guide de bonnes pratiques intitulé *Impacts des déversements d'hydrocarbures sur l'environnement marin* (IPIECA-IOGP, 2015a). Au fil du temps, tout hydrocarbure persistant à la surface de la mer devient généralement plus visqueux et moins toxique, dans le cadre d'un processus appelé vieillissement. Dans certains cas, les hydrocarbures peuvent demeurer en mer et ne jamais atteindre les côtes. Dans les climats très froids, la glace se formant en hiver le long de la côte peut former une barrière empêchant la contamination du littoral. Cependant, dans d'autres circonstances, ils peuvent atteindre les côtes sous plusieurs formes. Il se décline ainsi en : fines irisations ; en hydrocarbures frais légers, aux effets toxiques aigus ; en hydrocarbures lourds vieillis et en émulsions (aussi appelées mousses), aux effets engluants/étouffants ; et en petits morceaux d'hydrocarbures vieillis sous la forme de boulettes de goudrons. En outre, les organismes littoraux peuvent également être exposés à des hydrocarbures dissous ou dispersés dans l'eau. Les vagues déferlant sur le littoral favorisent encore le processus de dispersion.

Lorsqu'un hydrocarbure atteint le littoral, son devenir dépend d'une série de facteurs supplémentaires incluant la topographie de la côte, la composition de l'hydrocarbure et l'exposition aux vagues et aux marées, ainsi que

le degré de vieillissement de l'hydrocarbure lorsqu'il atteint les côtes. La figure 1 illustre certains de ces facteurs. L'exemple le plus frappant concerne une paroi rocheuse abrupte située sur une côte exposée aux vagues, qui ne sera vraisemblablement pas contaminée, la nappe d'hydrocarbure étant retenue sous l'action des vagues réfléchies. Cependant, la plupart des mangroves et des marais salants sont tellement abrités des vagues et des courants tidaux que tout hydrocarbure s'y échouant peut y persister pendant des années.

Dans certaines conditions, les hydrocarbures flottants et les sédiments en suspension peuvent se mélanger sous l'action des vagues déferlantes dans la zone de déferlement. Les sédiments contaminés sont alors plus lourds que l'eau et sédimentent, ce qui peut entraîner la formation de boulettes et de plaques de goudrons dans la zone subtidale peu profonde à proximité de la plage. Ce fut notamment le cas lors de la contamination du littoral dans certaines zones, à la suite du sinistre du Macondo survenu en 2010 dans le Golfe du Mexique.

Suivant les types de circulation d'eau à proximité des côtes, les hydrocarbures se concentrent dans des zones déterminées. Certaines côtes sont bien connues pour constituer des sites naturels d'accumulation de déchets et d'algues, et les hydrocarbures s'y accumulent également. La distribution des différents substrats, ainsi que les

Les côtes contaminées et le nettoyage (seuls les excavatrices et les camions citernes sont représentés) de la partie supérieure de la côte d'Angle Bay à Milford Haven, au Pays de Galles, illustrant la distribution éclatée de l'hydrocarbure déversé suite au naufrage du Sea Empress survenu en 1996.



Plaques d'hydrocarbures mélangées avec du sable, déposées sur la partie inférieure de la côte et la zone subtidale peu profonde à Grand Isle, en Louisiane, durant le sinistre du puit de Macondo survenu en 2010 dans le Golfe du Mexique.



structures naturelles ou artificielles comme les promontoires, les récifs, les crêtes rocheuses, les plages de galets, les ruisseaux, la glace de mer, les brise-lames et les digues déterminent dans quelle zone de la côte l'hydrocarbure va se concentrer. La contamination est souvent fragmentaire, même sur les côtes relativement uniformes : La majorité des hydrocarbures se concentrent généralement dans une zone limitée du littoral contaminé, la plus grande partie du littoral étant, au pire, exposé à une contamination légère ou à une irisation.

Les hydrocarbures ne persistent guère sur les surfaces durablement humides et notamment sur la plupart des algues, mais adhèrent fermement aux substrats desséchés après le retrait de la mer. Les étages infralittoral et mediolittoral de l'estran sont exposés à l'hydrocarbure flottant et aux hydrocarbures dissous durant les cycles des marées. Mais il est peu probable que les hydrocarbures échoués persistent sur la partie inférieure de la côte. Cependant, le long de la ligne de marée haute et dans la partie supérieure de la zone intertidale, les sédiments sont souvent moins saturés en eau, et les hydrocarbures deviennent plus collant au contact des surfaces chaudes et rugueuses. Dès lors, la remobilisation des hydrocarbures déposés sous l'action des vagues et des marées est moins probable. Les côtes recouvertes de glace assurent un certain niveau de protection contre les hydrocarbures et peuvent limiter leur persistance, l'hydrocarbure pouvant cependant être capturé par la glace sur les côtes.

Certains hydrocarbures peuvent pénétrer dans certains sédiments du littoral, en fonction de facteurs comme la porosité (liée au type et de sédiment et sa granulométrie), la profondeur de la nappe phréatique, la viscosité des hydrocarbures et la présence de terriers ou de vides laissés par des racines en décomposition. La pénétration des hydrocarbures est moins probable dans la plupart des vasières en raison de la faible granulométrie et de la saturation en eau. Cependant, il est possible qu'un hydrocarbure peu visqueux pénètre à des profondeurs d'environ un mètre sur un littoral de sable ou de gravier bien drainé ou dans les zones peuplées par les crabes. Les plages de galets et de cailloux présentent le potentiel de pénétration le plus élevé. On les rencontre avant tout à des latitudes élevées, notamment dans les zones d'accumulation des débris glaciaires où les matières fines permettant de combler les brèches font défaut. Les hydrocarbures qui pénètrent ces sédiments grossiers peuvent alors former une couche en surface ou souterraine qui peut se révéler très persistante. Cela a notamment été démontré par le Projet étudiant le déversement d'hydrocarbures de l'île de Baffin (BIOS) (1980–1983) dans l'Est de l'Arctique canadien. Le Projet BIOS constitue une des plus importantes expériences de terrain jamais mises en œuvre afin d'observer l'évolution et les effets des hydrocarbures déversés, mais aussi de démontrer que, dans les climats froids où la viscosité est relativement élevée et les terriers sont peu nombreux, la pénétration dans les sédiments fins est moins probable.

Les hydrocarbures échoués peuvent s'enfouir dans le cadre de différents processus, particulièrement durant les tempêtes. Il peut également être piégé dans les marais être



Peter Taylor

L'hydrocarbure visqueux déversé par le Worthy en 1989 n'a pas pénétré dans le sédiment sableux de Southampton Water, Angleterre.



L'hydrocarbure déversé en 1991 durant la guerre du Golfe contaminant les terriers de crabes dans les marais salants de la partie supérieure des côtes saoudiennes, permettant aux hydrocarbures de pénétrer profondément dans ces sédiments fins.

Une couche d'hydrocarbure enfouie sous le sable à côté de Manifah, en Arabie Saoudite, durant le déversement d'hydrocarbures survenu en 1991 durant la guerre du Golfe. Cette photographie a été prise 11 ans après le déversement (l'échelle est indiquée par le crayon).



enfoui par les sédiments entrants. Une grande quantité d'hydrocarbures a été enfouie sur de nombreuses côtes sableuses durant le déversement survenu en 1991 lors de la guerre du Golfe et le sinistre du *Prestige* survenu en 2002, des couches d'hydrocarbures étant recouvertes par un mètre de sable à certains endroits. Il est également possible que les dépôts d'hydrocarbures enfouis soient de nouveaux exposés par les processus d'érosion.

Une fois les hydrocarbures échoués sur la côte, les vagues et les marées sous l'effet desquelles ils ont atteint la côte, contribuent à son élimination, à une vitesse qui dépend de nombreux facteurs. L'exposition des hydrocarbures aux vagues, aux courants de marées, aux conditions météorologiques

et au climat, et aux caractéristiques de la côte constituent autant de facteurs importants. Il est peu probable qu'une plaque d'hydrocarbures exposée à une forte agitation des vagues reste sur la côte pendant longtemps, notamment sous l'action de frottement exercée par les sédiments mobiles. Sur les côtes arctiques, le frottement des glaces peut contribuer à l'élimination des résidus d'hydrocarbures. Cependant, lorsque les hydrocarbures sont piégés dans une baie abritée, comme un marais ou une mangrove, plusieurs années peuvent être nécessaires aux mouvements limités de l'eau pour éliminer les hydrocarbures. Même sur des côtes relativement exposées, les caractéristiques topographiques à petite échelle et la présence de rochers peuvent former un abri au sein duquel les résidus d'hydrocarbures peuvent persister. Les conditions météorologiques comme le ruissellement des eaux de pluie ou les tempêtes, la chaleur ou la lumière du soleil favorisent les processus de vieillissement des hydrocarbures déposés sur le littoral. La présence de particules d'argile dans l'eau peut contribuer à l'élimination de l'hydrocarbure des substrats côtiers dans le cadre d'un processus de floculation.

La biodégradation des hydrocarbures en dioxyde de carbone et en eau constitue l'étape ultime de la dégradation de la plupart des hydrocarbures déversés. La vitesse de dégradation dépend cependant d'une série de facteurs et notamment du type et du poids moléculaire des hydrocarbures et de la superficie sur laquelle les microbes peuvent attaquer les hydrocarbures. Les hydrocarbures remobilisés sur la côte sous la forme de petites gouttelettes ou de fragments, ou adhérant à des particules d'argile, peuvent dès lors être biodégradés relativement vite par les bactéries dans la colonne d'eau. Des fragments de plus grande taille peuvent se déposer dans les fonds marins.

Dans ce sable boueux, la « couche noire » naturelle anoxique peut se situer à une profondeur de 1 à 2 cm en-dessous de la couche supérieure oxygénée. Les sédiments argileux ou limoneux anoxiques sont naturellement de couleur noire suite à la formation de sulfure de fer dans les zones dans lesquelles la quantité d'oxygène est insuffisante pour permettre la formation d'oxydes de fer, si bien qu'ils sont parfois confondus avec des hydrocarbures. Ils peuvent également avoir l'odeur d'hydrogène sulfuré (l'odeur « d'œufs pourris ») qui peut également être confondue avec l'odeur de l'hydrocarbure.



Il est vraisemblable que les hydrocarbures qui pénètrent dans les sédiments ou qui sont piégés sous la surface, soient plus persistants dans la mesure où ils sont moins exposés aux mouvements de l'eau qui en principe contribuent à son élimination et car la disponibilité limitée en oxygène et en substances nutritives ralentit sa dégradation microbienne. Dans les sédiments argileux ou limoneux où l'on observe peu de drainage naturel, la perméabilité à l'oxygène peut être si faible que des conditions anoxiques se développent. Les bactéries qui vivent dans des conditions anoxiques peuvent entraîner la dégradation des hydrocarbures, quoique bien plus lentement que les bactéries qui contiennent les sédiments oxygénés. La lenteur de la dégradation des dépôts d'hydrocarbure enfouis,

qui dépend des conditions locales, permet à ces dépôts de conserver leurs caractéristiques propres propres à leur composition chimique originale pendant des années. Le même hydrocarbure enfoui dans un sédiment bien oxygéné sera dégradé plus rapidement, mais pourra persister sous la forme de couche souterraine dans certains environnements littoraux. Avec le temps, la biodégradation réduit la toxicité du sédiment et permet la recolonisation par un nombre croissant d'animaux et de plantes.

La persistance des hydrocarbures est également affectée par la température de l'eau et le climat, dans la mesure où ils sont plus visqueux dans les environnements froids et où les processus biologiques peuvent se révéler plus lents. La biodégradation de l'hydrocarbure par les bactéries peut survenir rapidement dans l'eau et les sédiments par tout temps, cependant le remaniement des sédiments contaminés par les plantes et les animaux est plus lent dans les régions polaires, notamment en hiver. Dans les zones dans lesquelles les sédiments littoraux peuvent geler, il est possible que la pénétration des hydrocarbures soit limitée.

Au fil du vieillissement, les hydrocarbures deviennent plus visqueux et moins toxique, persistant parfois sous la forme de résidus de goudron dans la partie supérieure de la côte. De tels résidus contiennent généralement une quantité importante d'hydrocarbures au poids moléculaire élevé qui se biodégradent lentement. La persistance des résidus d'hydrocarbures dépend également de leur épaisseur, dans la mesure où le vieillissement et l'activité bactérienne interviennent exclusivement à la surface des hydrocarbures. Lorsque les hydrocarbures se mélangent avec du gravier dans la partie supérieure de la côte, ils peuvent former des « plaques d'asphalte ». De tels résidus et plaques peuvent persister pendant des années et affecter



IPIECA

Les résidus d'hydrocarbures déversés à l'occasion du sinistre du Metula survenu en 1974 à Tierra Fuego, au Chili, persistent dans des marais salants. Sous un climat plus chaud, les hydrocarbures seraient fragmentés et dégradés plus rapidement sous l'action d'une colonisation et d'une croissance plus active des plantes et des microorganismes.

Encadré 1 Terminologie

Vulnérabilité et sensibilité aux hydrocarbures : la vulnérabilité désigne la probabilité qu'une ressource soit exposée aux hydrocarbures. La sensibilité implique que la ressource a été exposée aux hydrocarbures et désigne l'effet relatif d'une telle exposition. Ainsi, un récif corallien en eau profonde pourra être sensible mais non vulnérable à un déversement d'hydrocarbure en surface, alors que des algues évoluant sur une côte rocheuse seront vulnérables mais non sensibles.

La **toxicité** désigne le potentiel ou la capacité d'une matière à avoir des effets nocifs sur les organismes vivants. La toxicité aquatique désigne la capacité d'un agent chimique à avoir des effets toxiques sur les organismes aquatiques.

L'**exposition** est la résultante de la **durée** de l'exposition à l'agent chimique et de la **concentration** de l'agent chimique.

La **voie d'exposition** est la façon dont l'organisme est exposé à la substance, il peut s'agir de l'ingestion (directement ou dans les aliments), l'absorption via les branchies ou le contact avec la peau.

L'**intensité** d'un effet toxique dépend de la sensibilité d'un organisme aux agents chimiques, mais est également fonction de la concentration et de la durée d'exposition à l'agent chimique.

Toxicité Aiguë et Chronique : la toxicité aiguë implique des effets néfastes sur un organisme à l'occasion d'une exposition unique ou de courte durée. La toxicité chronique est la capacité d'une substance ou d'un mélange de substances à avoir des effets néfastes sur une période prolongée, la plupart du temps dans le cadre d'une exposition répétée ou durable, couvrant parfois l'intégralité du cycle de vie de l'organisme exposé.

La **biodisponibilité** désigne la mesure dans laquelle un agent chimique peut être absorbé par un organisme et détermine la capacité toxique et la vitesse de biodégradation de cet agent chimique.

Les hydrocarbures résiduels lors du sinistre de l'Exxon Valdez en 1989 persistent sur certaines côtes rocheuses de la Baie du Prince-William, en Alaska. Des hydrocarbures lourds ont contaminé des couches de sédiments poreux protégées contre le processus de vieillissement par les roches sous-jacentes et les graviers.



IPIECA

significativement les habitats et en empêcher la colonisation. À Milford Haven, au Pays-de-Galles, les résidus de goudron apparus à la suite du bombardement des cuves de pétrole d'août 1940, lors de la Seconde guerre mondiale, sont toujours présents sur une côte rocheuse située à proximité. Après le durcissement de ces plaques de goudron sous l'effet du vieillissement, toute toxicité persistante restera piégée à l'intérieur de la plaque. Le lessivage progressif des hydrocarbures contenus dans les résidus peut entraîner une exposition des organismes marins situés à proximité à de faibles concentrations (chronique). Cependant, plus les hydrocarbures sont persistants, plus ce lessivage sera lent. En conséquence, les concentrations en hydrocarbures dans les eaux environnantes peuvent être si basses qu'elles n'entraîneront pas d'effet toxique significatif. Il s'agit d'une

situation similaire à celle qu'on peut rencontrer dans certains estrans de la Baie du Prince-William, en Alaska, où des quantités relativement faibles de résidus d'hydrocarbures faisant suite au naufrage l'Exxon Valdez de 1989, persistent sous les rochers. L'exposition continue aux hydrocarbures chez les loutres et certains oiseaux a été constatée dans le cadre des études de biomarqueurs menées neuf ans après le déversement. Cette exposition a été mise en relation avec les résidus d'hydrocarbures persistants par certains chercheurs, alors que d'autres estiment que ces résidus n'ont aucun effet significatif sur l'environnement. Des informations plus détaillées sur la toxicité aiguë et chronique sont fournies par le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur les impacts des déversements d'hydrocarbures sur l'écologie marine (IPIECA-IOGP, 2015a).

La régénération des habitats contaminés correspond généralement à un processus graduel. Au fil de la réduction de la toxicité sous l'effet de la biodégradation et du vieillissement, les habitats seront colonisés par un nombre croissant d'animaux et de plantes. Certaines espèces peuvent résister à des concentrations élevées en hydrocarbures et des longues périodes d'exposition sans pâtir des effets toxiques. Il s'agit généralement des premières espèces opportunistes qui recoloniseront l'habitat. Ces opportunistes peuvent alors contribuer à la fragmentation de l'hydrocarbure et favoriser sa dégradation, ouvrant la voie de la colonisation à d'autres espèces plus sensibles.

Goudron recouvrant une plage rocailleuse sur la côte égyptienne, en mer rouge. Les quelques espèces qui se sont adaptées à la vie sur ces côtes ont besoin de refuges à l'abri du soleil. Les résidus de goudron peuvent colmater de telles cavités et réduire la disponibilité des habitats.



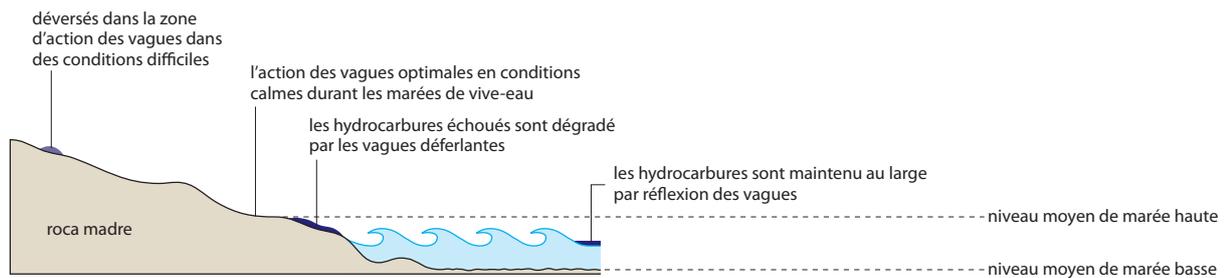
Les interprétations actuelles de la régénération écologique se focalisent sur les fonctions d'un habitat contaminé plutôt que sur la contamination elle-même. Cependant, là où les impacts des déversements d'hydrocarbures perdurent, ils sont avant tout dus à la persistance de la contamination. Il est dès lors crucial de comprendre la persistance des hydrocarbures dans différentes situations afin de pouvoir évaluer la durée nécessaire à la régénération. La nature et l'intensité de la contamination persistante constituent des facteurs importants lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact sur l'environnement. Il est également essentiel d'inclure les concentrations naturelles en hydrocarbures dans le milieu et la présence des autres stress naturels et anthropogéniques. La régénération de l'environnement suite à un déversement d'hydrocarbures sera en principe rapide dans la plupart des zones affectées. Les cas de régénération lente sont généralement limités aux petites parties de littoral dans lesquelles l'hydrocarbures reste persistant. Toute opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures vise avant tout à

empêcher que les hydrocarbures atteignent des littoraux propices à une persistance à long terme. Les déversements suivants montrent que le type d'hydrocarbure et l'exposition aux vagues influent de manière significative sur la persistance et la régénération :

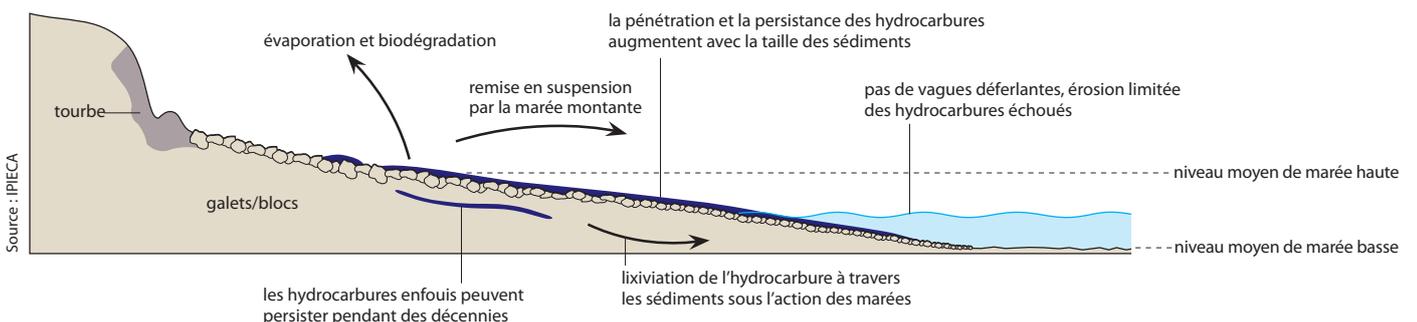
- Le fioul lourd déversé en 1970 à la suite du sinistre de l'Arrow a contaminé le littoral de la Baie de Chedabucto, à Nova Scotia, au Canada, sur plus de 300 km. La plus grande partie du littoral a été nettoyée naturellement. Une étude approfondie réalisée en 1992 a permis d'établir la présence d'hydrocarbures résiduels sur 13,3 km de littoral, environ 1,3 km de côtes faiblement exposées ayant été lourdement contaminés. Les études sur les communautés intertidales contaminées réalisées au moment du déversement ont permis d'observer des fortes mortalité chez de nombreuses espèces, et notamment chez certains bivalves, les myes communes, à Black Duck Cove. Le recrutement de ces bivalves a été gravement affecté par une contamination persistante mais a été accéléré par le vieillissement de l'hydrocarbure et la baisse du niveau de toxicité. Six ans après le déversement, des concentrations toxiques en hydrocarbures affectaient toujours les sédiments de la Baie, les taux de croissance de la mye étant significativement réduits. Des études postérieures, réalisées 23 et 27 ans après le déversement, ont montré que les sédiments provenant de ces sites contenaient toujours des concentrations importantes en hydrocarbures mais que le niveau de toxicité avait chuté, comme l'ont montré les indicateurs d'exposition des poissons plats et les autres tests de toxicité.
- Le pétrole brut léger déversé en 1996 en mer du Nord à la suite du sinistre du Sea Empress a contaminé le littoral de Pembrokeshire, au Pays de Galles, sur environ 200 km. Les opérations de nettoyage, concentrées sur les plages touristiques, ont permis d'éliminer les hydrocarbure sur la plus grande partie du littoral. Cependant, la plus grande partie des hydrocarbures échoués sur le littoral ont été avant tout nettoyés naturellement. Les études ont permis de documenter les impacts graves sur la vie côtière. Cependant, ce ne sont que de faibles concentrations en hydrocarbures qui ont été observées moins de trois ans après le déversement, la présence de petites plaques de goudron et de couches d'asphalte ayant été signalée dans des sites bien abrités. La plupart des impacts connus sur la faune et les habitats côtiers ont disparu en l'espace de cinq ans.

Figure 1 Exemple d'évolution des hydrocarbures sur le littoral

Les côtes rocheuses exposées



Les plages de galets/blocs abritées



Source : IPIECA

Indice de sensibilité environnementale (ESI)

L'indice de sensibilité environnementale (ESI) consiste en une échelle à dix niveaux qui intègre tous les facteurs décrits ci-dessus voire bien plus afin de classer les littoraux en fonction de la probabilité de persistance des hydrocarbures. Plus le numéro ESI est élevé, plus la probabilité de persistance des hydrocarbures est importante. Comme la persistance des hydrocarbures est la principale cause d'impacts à long terme, l'échelle peut être utilisée pour évaluer le potentiel de régénération. Cependant, cette échelle est avant tout conçue pour classer les types de littoraux sur des cartes de sensibilité utilisées durant les opérations d'urgence, afin d'appuyer les décisions en matière de lutte, la hiérarchisation et la sélection des principales techniques de traitement du littoral. Pour en savoir plus, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA sur la cartographie de la vulnérabilité des côtes aux pollutions maritimes accidentelles (IPIECA/IMO/IOGP, 2012).

Le tableau 1 présente les principales catégories de l'échelle ESI. L'échelle a été adaptée à certains littoraux régionaux, via la définition de sous-catégories spécifiques à ces régions. Ces sous-catégories ne sont pas reportées dans ce guide.

Tableau 1 Les principales catégories de l'échelle ESI

ESI	Description du littoral
1	<p>a) Côtes rocheuses exposées Forte pente. Les hydrocarbures sont généralement maintenus au large par la réflexion des vagues sur la côte. Tout hydrocarbure déposé est rapidement éliminé sous l'action des vagues. Les impacts sur les communautés de l'estran sont généralement de courte durée, à moins qu'une exposition aiguë à un hydrocarbure léger frais soit à l'origine de fortes mortalités.</p> <p>b) Structures artificielles et solides exposées Inclut les digues, les jetées etc. Voir ci-dessus.</p>
2	<p>a) Plateformes rocheuses exposées. Plateaux ou plateformes de largeur variable en pente douce. Souvent appuyés sur un escarpement abrupt, avec parfois des sédiments à sa base. Les bassins et les crevasses sont fréquents, la présence de graviers est possible. Les hydrocarbures n'adhéreront pas à la plateforme, mais pourront s'accumuler parmi le gravier sur la ligne de marée haute. La persistance est généralement de courte durée.</p> <p>b) Escarpements et pentes abruptes argileuses exposées. Se trouve généralement le long des chéneaux dans les zones humides où les courants traversent une côte escarpée. Les hydrocarbures n'adhèrent pas à la surface argileuse, sauf éventuellement au niveau de la ligne des hautes eaux. Tout hydrocarbure déposé est rapidement éliminé par le mouvement des eaux.</p>
3	<p>a) Plages de sable fin à moyen. Des surfaces compactes planes ou à pente modérée. Des algues sont susceptible de s'accumuler le long de la laisse de mer. Les hydrocarbures peuvent recouvrir une vaste zone, mais ils seront décollés de la partie inférieure de l'estran pour s'accumuler le long de la partie supérieure de la zone intertidale. Les hydrocarbures peuvent pénétrer dans le sable ou s'enfouir, la faune des sédiments étant alors susceptible de se raréfier. Ces plages figurent parmi les plus faciles à nettoyer.</p> <p>b) Escarpements et pentes abruptes érodées dans le sable ou la tourbe. Ceci est observé là où les dunes de sable sont érodées par les vagues. Elles peuvent se composer d'une plage étroite le long de sa base, leur utilisation par la faune étant limitée. Susceptible d'avoir un impact saisonnier sur les oiseaux. Les hydrocarbures échoués se concentreront sur la ligne de marée haute, et sont susceptibles de pénétrer les sédiments. La présence d'hydrocarbures est généralement de courte durée.</p>
4	<p>Plages de sable grossier. Pente modérée de sédiments meubles. La faune des sédiments est limitée. Les hydrocarbures peuvent recouvrir une vaste zone, mais ils seront décollés de la partie inférieure de l'estran pour s'accumuler le long de la partie supérieure de la zone intertidale. Les hydrocarbures peuvent pénétrer le sable ou s'enfouir à des profondeurs supérieures à 1 m, la faune des sédiments étant alors susceptible de se raréfier. Le sédiment est trop meuble pour les véhicules.</p>

suite...

Tableau 1 Caractéristiques principales de l'échelle ESI (suite)

ESI	Descripción de las costas
5	Plages de sable et de graviers Il peut s'agir de zones composées de sable, de cailloux et de galets, la distribution étant susceptible de changer. La faune et la flore sont généralement limitées, sauf sur les substrats les plus stables. Les hydrocarbures peuvent recouvrir toute la plage, mais ils seront décollés de la partie inférieure de l'estran pour s'accumuler le long de la partie supérieure de la zone intertidale. Les hydrocarbures peuvent pénétrer les sédiments ou s'enfouir. Des plaques d'asphalte peuvent se former dans les sites abrités.
6	a) Plages de graviers, composées de matériaux allant des galets aux blocs. Elle peut être abrupte et abriter des bermes façonnées par les vagues. La faune et la flore sont généralement limitées sauf sur le substrat le plus stable de la partie inférieure de la plage. Il est possible que les hydrocarbures pénètrent en profondeur, ou qu'ils aillent au-delà de la ligne de marée haute et deviennent alors très persistant. Des plaques d'asphalte peuvent se former dans les sites abrités. Potentiel de contamination chronique. b) Enrochement. Blocs de rochers ou de béton mis en place pour la protection des côtes. Il est possible que les hydrocarbures pénètrent en profondeur et adhèrent aux surfaces rugueuses. Potentiel de contamination chronique.
7	Vasière exposée (tidal flat, vaste étendue de sable souvent couverte à marée haute) De vastes zones sableuses planes recouvertes de mélanges de coquillage et de vase. Généralement dans les passes intertidales. Saturé en eau sauf sur les crêtes les plus élevées. La faune des sédiments peut y être dense, c'est une zone importante pour les oiseaux des zones humides. Les hydrocarbures n'adhèrent pas aux sédiments humides, cependant, ils s'accumuleront au niveau de la ligne de marée haute et peut pourront pénétrer les zones les plus élevées. La faune des sédiments est alors susceptible de se raréfier considérablement.
8	a) Côtes rocheuses abritées La perméabilité est variable en fonction du substrat. Les densités de la faune et la flore qui y sont liées peuvent être élevées. Les hydrocarbures adhéreront aux surfaces rugueuses le long de la ligne de marée haute mais pas sur les surfaces humides de la partie inférieure de l'estran. Les hydrocarbures pénétreront au travers de débris anguleux peu compacts, une persistance à long terme est possible. b) Côtes artificielles abritées Inclut les digues, les jetées etc. Voir ci-dessus.
9	a) Vasières abritées (tidal flats). Vase meuble, avec parfois du sable et des coquillages. Fréquemment ramenés par les marais. La faune des sédiments peut y être dense, c'est une zone importante pour les oiseaux des zones humides. Les hydrocarbures n'adhèrent pas aux sédiments humides, cependant, ils s'accumuleront au niveau de la ligne de marée haute et pourront pénétrer dans les terriers. Potentiel de dépôt de sédiments contaminés. La faune des sédiments est alors susceptible de se raréfier considérablement. b) Berges basses abritées, recouvertes de végétation. Berges basses des chéneaux, recouvertes d'herbes ou de racines d'arbres exposées. Les hydrocarbures sont susceptibles de recouvrir les plantes et les arbres à la montée des eaux.
10	a) Marais d'eau salée ou saumâtre. Zones humides tempérées et subtropicales dominées par les plantes des marais. Les sédiments correspondent à de la vase riche en matières organiques, sauf sur les rebords des chéneaux qui peuvent être sableux. Faune et flore abondante. Les hydrocarbures adhèrent à la végétation émergée. L'hydrocarbures lourds resteront à la périphérie des marais, alors que des hydrocarbures plus légers sont susceptibles d'y pénétrer plus profondément. Les hydrocarbures moyens et lourds ne pénètrent pas dans les sédiments humides, mais sont susceptibles de s'accumuler dans les cuvettes. Les hydrocarbures légers peuvent pénétrer à travers les premiers centimètres des sédiments. La faune et la flore sont alors susceptibles de se raréfier considérablement. b) Mangroves. Les marais tropicaux et subtropicaux d'eau salée recouverts de broussailles et de buissons. Des substrats variés, mais principalement vaseux. Faune et flore abondante. Les hydrocarbures adhèrent à la végétation émergée et tendent à se concentrer sur les bermes ou le littoral, où ils sont susceptibles de pénétrer les sédiments. Potentiel de contamination chronique. La faune et la flore sont alors susceptibles de se raréfier considérablement.

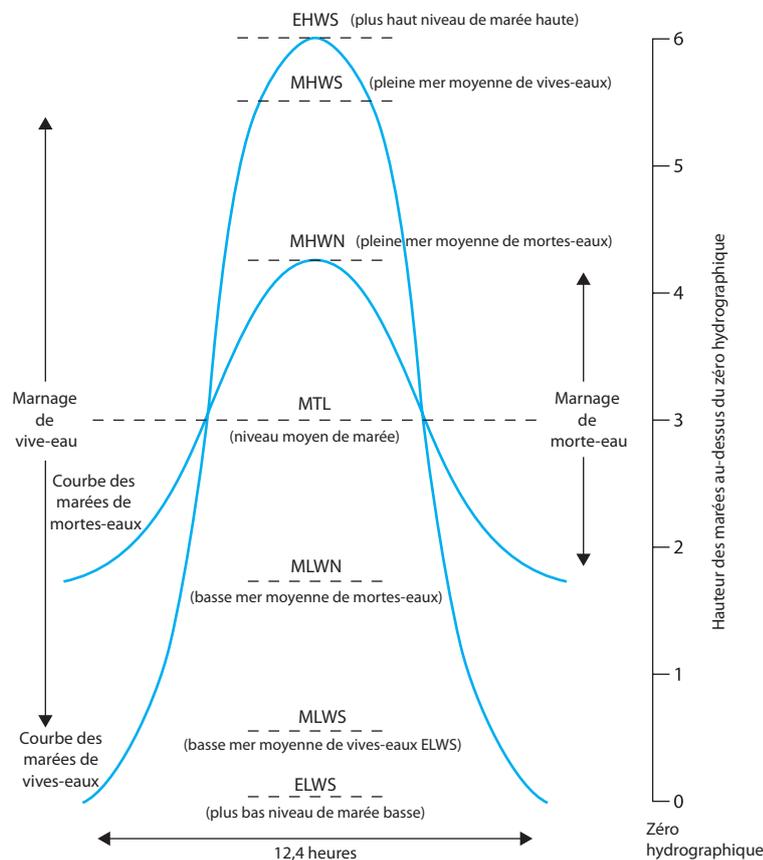
Impacts écologiques des hydrocarbures sur le littoral

Organismes vivants du littoral et sensibilité aux hydrocarbures

Les espèces animales et végétales vivant sur le littoral en raison de la source d'aliments, des abris et des substrats qu'il leur procurent sont également soumis à des stress environnementaux. Ces stress sont liés à l'action des vagues, au mouvement des sédiments et aux marées (voir la figure 2) qui sont responsables de fluctuations journalières et saisonnières significatives au niveau des températures, de la salinité, de la dessiccation, de la prédation et de la disponibilité en nutriments et en l'oxygène. Le littoral étant une zone très dynamique, chaque espèce qui l'occupe y trouve une période où les conditions sont optimales pour elle. Les bénéfices et les stress génèrent un zonage vertical marqué entre le point le plus haut de la côte, où la plupart des organismes sont robustes, et la partie basse de la côte présentant une biodiversité plus importante. Les communautés côtières sont également structurées par d'autres facteurs environnementaux liés à leur habitat, y compris le type de substrat, l'érosion et la sédimentation, l'exposition (au soleil) et la zone biogéographique. Dans les régions polaires, les côtes sont également très marquées par l'érosion générée par les glaces (affouillement des fonds marins par la glace). Les effets de la contamination sur les espèces et les communautés sont largement influencés par l'ensemble de ces facteurs physiques, mais aussi par la sensibilité biologique qui est spécifique à chaque espèce.

L'écologie de la zone néritique peu profonde est étroitement liée à sa côte adjacente tandis que, comme décrit dans la section précédente, certains des processus physiques affectant l'hydrocarbure échoué sur le littoral peuvent entraîner une exposition accrue à l'hydrocarbure dans la zone néritique peu profonde. Ces zones se

Figure 2 Un cycle typique de marées diurnes



Le cycle des marées est contrôlé par la force gravitationnelle de la lune et du soleil, si bien que le cycle lunaire d'environ quatre semaines enchaîne les marées de vives-eaux (pleine lune), les marées de mortes-eaux (dernier quartier), les marées de vives-eaux (nouvelle lune), les marées de mortes-eaux (premier quartier) et une pleine lune.

caractérisent souvent par biodiversité et productivité élevées. Pour en savoir plus sur les habitats et les communautés des eaux peu profondes, consultez les sections ci-dessous ainsi que le Guide de bonnes pratiques de l'IEPCA-IOGP sur les impacts des déversements d'hydrocarbure sur l'environnement marin (IEPCA-IOGP, 2015a).

Les lagons côtiers sont également étroitement associés au littoral adjacent et sont particulièrement importants dans certaines parties du monde, notamment en Arctique. Ils sont exposés aux fluctuations environnementales qui tendent à limiter leur biodiversité. Cependant, ils peuvent présenter une productivité élevée et sont souvent peuplés par des espèces spécialisées. Les échanges d'eau avec la mer sont, par définition, limités, toute pénétration significative des hydrocarbures à l'intérieur du lagon étant aussi limitée. Cependant, si les hydrocarbures y pénètrent, ils persisteront vraisemblablement et pourraient avoir des impacts écologiques.

Le comportement ou la biologie (par ex. les migrations, la reproduction, la mue, le frai) de nombreuses espèces sont rythmés par les saisons ce qui est susceptible d'affecter leur vulnérabilité à un déversement d'hydrocarbures. Sur les littoraux, cela concerne tout particulièrement la migration des oiseaux des marais, la nidification des tortues, le développement saisonnier et le dépérissement des plantes des marais salants. Ces problématiques et bien d'autres sont traitées plus loin dans ce guide.

Plantes et invertébrés du littoral

Toutes les espèces de l'estran peuvent être potentiellement contaminées, directement ou indirectement, par les hydrocarbures. Cependant, certaines sont plus vulnérables ou sensibles que d'autres. La majorité des herbiers marins sont par exemple protégés naturellement par un revêtement muqueux qui résiste aux hydrocarbures. Ainsi, il existe de nombreux exemples d'herbiers marins sévèrement souillés mais qui se sont auto-nettoyés et sont ressortis apparemment indemnes sans intervention humaine. À l'inverse, les mangroves peuvent être exterminées par un hydrocarbure visqueux asphyxiant les pores respiratoires situés sur leurs racines. Les mangroves dépendent de ces pores qui assurent l'oxygénation de la plante.



David Leveill

Cette photographie montre une surface rectangulaire rocheuse (au centre) qui n'a pas été nettoyée et entourée de rochers lavés à haute pression afin d'éliminer les hydrocarbures suite au naufrage du Sea Empress en 1996. Le nettoyage à haute pression a également éliminé les algues et les autres organismes côtiers qui n'ont recolonisé les habitats que plus de deux ans après. Les algues souillées mais non nettoyées semblent ne pas avoir été affectées par la contamination.

Les organismes pourront, en fonction du lieu où ils se trouvent et de leur mode de vie, être exposés aux hydrocarbures par différentes voies, et le mécanisme d'action pourra également varier. Le contact physique direct des plantes et des animaux à la surface de la côte peut provoquer un engluement et perturber l'alimentation. De plus, toute exposition prolongée à des concentrations élevées en hydrocarbures peut avoir des effets toxiques. Lorsque les hydrocarbures ne pénètrent pas dans les sédiments, les animaux évoluant dans ces habitats sont susceptibles d'être moins affectés. De même, l'exposition aux hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau située dans la zone de l'estran où les eaux sont peu profondes, sera plus importante pour les organismes filtreurs, alors que de nombreux animaux fouisseurs seront relativement protégés.



Les moules, les palourdes et les huîtres sont des bivalves filtreurs, qui se servent de leur corps pour filtrer activement de grandes quantités d'eau et capturer les particules de matière organique. Par conséquent, leurs tissus pourraient être contaminés par des concentrations en hydrocarbures qu'ils ne pourraient métaboliser rapidement et qu'ils n'élimineraient qu'après plusieurs semaines voire plusieurs mois (ce processus est appelé détoxification). Dès lors, les bivalves sont souvent utilisés comme des indicateurs de l'exposition aux hydrocarbures et de la régénération. Même si les bivalves peuvent survivre à des concentrations élevées en hydrocarbures dans leurs tissus, des études toxicologiques font état d'effets sublétaux notamment une croissance et des capacités reproductives réduites et d'autres effets sur les tissus.

Moules filtreuses submergées par les eaux durant la marée haute. L'eau est prélevée par le siphon inhalant le plus grand (à franges) et expulsée par le siphon exhalant le plus petit. Les hydrocarbures peuvent également être prélevés et absorbés par l'organisme puis progressivement éliminés.

De nombreux escargots de mer sont des brouteurs et sont dès lors vulnérables et sensibles aux hydrocarbures présentant une toxicité aiguë et recouvrant les surfaces sur lesquelles ils se nourrissent. Les impacts sur les populations de ces espèces et les effets sur la diversité des plantes et des algues dont ils se nourrissent, ont été décrits à la suite de nombreux déversements d'hydrocarbures.

Les petits crustacés, en particulier les amphipodes (un groupe très diversifié de petites crevettes), présentent des symptômes aigus d'intoxication lorsqu'ils sont exposés à un hydrocarbure frais. Les études sur les sédiments de l'estran ou les tapis d'algues qui sont généralement colonisés par des densités élevées d'amphipodes ont montré que leurs populations sont souvent appauvries lorsque ces habitats ont été exposés à des concentrations importantes en hydrocarbures dissous dans l'eau ou à des hydrocarbures dispersés sur de longues durées.

De nombreux autres invertébrés, comme les éponges, les coraux et les ascidies, sont physiquement attachés aux rochers, aux plantes et aux autres substrats immobiles. Ainsi, même s'ils sont exposés aux hydrocarbures et présentent des effets toxiques, ils resteront en place. La plupart de ces espèces privilégient les habitats qui ne sèchent pas lors des marées basses, comme la partie inférieure de la plage ou les habitats humides et ombragés comme les bassins et les surplombs. La majorité de ces espèces, même dans les cas de concentrations élevées en hydrocarbures, survivront vraisemblablement sauf lorsqu'elles seront confrontées à une exposition prolongée localisée ou asphyxiées par un hydrocarbure persistant. De nombreuses études faisant suite à des déversements réels ont fait état d'impacts limités sur ces invertébrés sessiles sauf en cas de perturbation du substrat sur lequel ils vivent.

Comme décrit dans la section précédente, la lenteur de la régénération d'une communauté littorale est le plus souvent due à la persistance des hydrocarbures, la régénération de l'habitat contaminé s'effectuant généralement par étapes successives. Cependant, il est possible que la régénération reste lente, même en l'absence de persistance de l'hydrocarbure. La vitesse de régénération est alors déterminée par la vitesse des processus écologiques et notamment par le recrutement de nouveaux colonisateurs, la compétition entre les espèces et la vitesse de croissance. La recolonisation du littoral par les algues et la plupart des

invertébrés suppose l'installation de spores et de larves provenant du plancton, ce qui se produit en principe une fois par an voire plus souvent. Dans le cadre d'un tel processus, la vitesse de recolonisation dépend de nombreux facteurs biologiques et environnementaux, mais il reste peu probable qu'elle soit fortement affectée par un déversement d'hydrocarbures si aucun résidu ne persiste. D'autres espèces d'invertébrés ne passent pas par le stade larvaire planctonique, leur recolonisation s'opérant alors via des migrations depuis les zones littorales voisines. Ici aussi, la vitesse de régénération dépend de nombreux facteurs mais pourrait être plus



Les habitats de la partie inférieure de la côte sont peuplés par de nombreuses espèces ici notamment par un crampon de varech, des éponges, des ascidies, des algues corallinales et des œufs de poisson.

lente dans le cas où les populations auraient été appauvries sur une zone étendue. La lenteur de la régénération de certaines communautés évoluant sur des côtes rocheuses à la suite du naufrage du *Torrey Canyon* survenu en 1967 s'explique notamment par la lenteur du processus de recolonisation par des espèces de patelles (un mollusque) à la périphérie des zones touchées. Un faible taux de croissances peut également avoir des effets à plus long terme, notamment lorsque celui-ci affecte des espèces jouant un rôle structurel clé au sein d'une communauté qui s'agrandit avec la taille de chaque organisme. C'est tout particulièrement le cas des mangroves dont la croissance est accompagnée par le développement de vastes communautés, la taille ayant également une incidence sur le rôle écologique joué par les autres organismes présentant de faibles taux de croissances. Ainsi, un grand bivalve présente une capacité plus importante de filtrage de l'eau, d'excrétion et de production d'œufs et de sperme que toute population de juvéniles colonisant les mêmes fonds marins. Enfin, les impacts des activités de nettoyage peuvent aussi ralentir le processus de régénération, cet aspect étant traité dans la section suivante de ce document.

Vertébrés du littoral

Le littoral constitue un habitat important en termes d'alimentation, de reproduction et d'alevinage pour de nombreuses espèces de poissons lorsque la marée est haute. En outre, de nombreux juvéniles et certains poissons adultes trouvent refuge dans les bassins ou les habitats de la partie inférieure de la côte lorsque la marée se retire. Certaines espèces migratoires, comme les saumons et les anguilles, peuvent traverser les zones intertidales lors de leur migration vers ou depuis les habitats d'eau douce. La contamination des habitats littoraux par les hydrocarbures a le potentiel d'affecter ces espèces, les études menées après le déversement ayant décrit certains impacts sur les stocks halieutiques du littoral. Le hareng du Pacifique pond ses œufs sur le varech, dans la partie inférieure de l'estran, l'étage circalittoral ou subtidale, où les eaux sont peu profondes. Ils y sont vulnérables aux hydrocarbures dispersés et dissous dans l'eau. L'hydrocarbure déversé en 2007 lors du sinistre du *Cosco Busan* a eu des effets toxiques sur les embryons des harengs et a entraîné une mortalité élevée de ces embryons dans la Baie de San Francisco. Les poissons, à leur stade larvaire ou juvénile, sont sensibles aux hydrocarbures, cependant, les stratégies reproductives de la plupart des espèces tolèrent des pertes significatives de juvéniles résultant généralement de la prédation ou d'autres causes de mortalité. Il suffit qu'une petite quantité ne survive pour maintenir les stocks d'adultes.



Des œufs de hareng sur la partie inférieure de l'estran.

Un bécasseau variable se nourrissant à marée basse.



Les littoraux, et notamment les vasières et les berges vaseuses des baies protégées, constituent également des espaces privilégiés pour l'alimentation, le rassemblement et la nidification de nombreuses espèces d'échassiers, de sauvagines et d'autres espèces d'oiseaux. De nombreuses espèces sont migratoires et sont susceptibles de se rassembler en grand nombre avant et durant leurs migrations saisonnières. À de telles périodes, elles sont tout particulièrement vulnérables aux déversements d'hydrocarbures. Cependant, leur vulnérabilité aux déversements d'hydrocarbures dépend largement du temps qu'elles passent à la surface de la mer. Comme la plupart des espèces migratoires ne passent guère de temps à la surface, leur potentiel de contamination est moindre

que celui des oiseaux espèces côtières. Ainsi, les taux de mortalité sont généralement bas, par rapport aux populations évoluant dans la région au moment du déversement. Bien que la plupart préfèrent les eaux douces, les sauvagines qui peuplent les estuaires et les baies protégées sont plus vulnérables dans la mesure où elles restent sur l'eau. Selon certaines théories, les impacts sur la disponibilité des aliments sont susceptibles d'avoir des effets indirects sur les populations de certaines espèces d'oiseaux côtiers après déversement. Dans le scénario le plus défavorable, ceci pourrait affecter les besoins énergétiques des populations d'échassiers. Les perturbations inhérentes aux opérations massives de nettoyage pourraient néanmoins affecter le comportement des oiseaux vivant dans les zones humides et dès lors réduire leur capacité à se nourrir normalement. Ils seront particulièrement vulnérables juste après de longues migrations, lorsque leurs réserves en énergie sont basses. Les opérations de nettoyage peuvent également perturber la nidification de certaines espèces, notamment les sternes et les goélands, qui font leur nid sur les bancs de sable, les récifs de galet et d'autres habitats situés juste au-dessus du niveau de marées hautes, près des plages de sable.

Un phoque d'Amérique du Sud sur la côte.



Les phoques, les lions de mer et les morses (ci-après appelés pinnipèdes) séjournent sur les côtes durant des périodes variables, en fonction des espèces, de l'âge et de l'époque de l'année. À l'occasion des grands rassemblements saisonniers, des échoueries biens établies sont formées : ils s'y reposent après avoir mangé, s'être reproduit ou après la mue. Même si leurs corps sont relativement insensibles à la toxicité des hydrocarbures, les muqueuses de leurs yeux et leur nez peuvent être inflammés. En outre, les pinnipèdes seront plus vulnérables sur ou à proximité de leur échouerie. La plupart des espèces donnent naissance sur la côte, et les juvéniles de certaines espèces, qui peuvent être

sensibles au risque d'engluement généré par les hydrocarbures, peuvent rester sur la côte pendant plusieurs jours. Les cadavres d'un petit nombre de phoques, principalement des bébés phoques, ont été retrouvés à la suite de plusieurs déversements. Cependant aucune conséquence significative sur les populations n'a été signalée.

Dans certaines parties du monde, les femelles tortues font leur nid au-dessus de la ligne de marée haute des plages de sable, revenant au même endroit à la même époque chaque année. Leurs œufs et les juvéniles récemment éclos seront vulnérables aux hydrocarbures atteignant ces zones durant la saison de nidification. Leurs nids sont enterrés si bien que les œufs sont généralement protégés. Cependant, les juvéniles sont plus

vulnérables lorsqu'ils traversent la plage en groupe. Ces juvéniles sont plus sensibles à la toxicité de l'hydrocarbure que les adultes. Des juvéniles de tortue morts ont été signalés après certains déversements d'hydrocarbures. Les niveaux des populations locales peuvent être affectés lorsque les aires de nidification des tortues sont sévèrement affectés pendant la période de nidification. Cependant, de tels effets n'ont jamais été rapportés. Pour une analyse plus détaillée de cette problématique, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'PIECA-IOGP sur les impacts des déversements d'hydrocarbure sur l'environnement marin (PIECA-IOGP, 2015a)



©Rainer von Brandis/Stockphoto

Une tortue faisant son nid au-dessus de la ligne de marée haute d'une côte sableuse.

Côtes rocheuses

Les côtes rocheuses englobent une grande variété d'habitats. Elles sont généralement classées en fonction de leur exposition aux vagues et de l'amplitude des marées. Cependant, d'autres facteurs jouent également un rôle important sur leur écologie et les impacts potentiels d'un déversement d'hydrocarbure. Les invertébrés et les plantes vivant dans les espaces dégagés des zones rocheuses ne sont pas protégés contre les conditions météorologiques et l'activité de la mer. Cependant, les côtes rocheuses constituent des zones accidentées à de nombreux titres, avec des pentes variées, des surplombs, des fissures, des crevasses, des grottes, des bassins, divers substrats situés sous les rochers et des surfaces de texture variées. La diversité des espèces peuplant les côtes rocheuses résulte de la variété de ces caractéristiques. En effet, les côtes abritent une grande variété d'habitats et de micro-habitats proposant divers niveaux de protection contre le soleil ou l'activité de la mer.

L'exposition aux vagues et la puissance des mouvements des eaux constituent des facteurs essentiels dans la mesure où de nombreuses plantes et de nombreux animaux ne sont pas adaptés pour faire face aux vagues et aux courants forts qui peuvent les arracher ou les déloger des roches. La persistance des hydrocarbures dépend aussi largement de ces éléments. Par conséquent, les surfaces rocheuses qui sont exposées à la forte action des vagues sont généralement dominées par les crustacés cirripèdes (comme les balanes) et les patelles qui sont de petits escargots fermement attachés mais mobiles qui peuvent trouver refuge dans de petites crevasses. Un hydrocarbure déversé atteignant de telles surfaces pourrait entraîner la mort des animaux contaminés, même s'il est peu probable que l'hydrocarbure persiste. Les processus de régénération naturelle peuvent démarrer lorsque les concentrations en hydrocarbures chutent à des niveaux ne constituant plus un obstacle à la recolonisation. En Arctique, les côtes rocheuses sont soumises à un processus d'érosion sous l'action de la glace, limitant la diversité mais aussi la persistance des hydrocarbures et leurs impacts potentiels. Les algues et de nombreux autres invertébrés sont mieux adaptés aux surfaces des côtes rocheuses qui procurent un niveau élevé de protection contre l'action des vagues. Dès lors, les côtes rocheuses protégées des vagues, dans les estuaires et les autres baies, sont généralement dominées par une variété



Zonage et micro-habitats sur une côte rocheuse escarpée.

de micro-algues marrons, vertes et rouges, alors que divers invertébrés vivent sur et en-dessous des algues. Il est peu probable que des hydrocarbures atteignant ces habitats soient éliminés rapidement. La régénération consécutive à un tel déversement pourrait nécessiter beaucoup de temps. Les structures artificielles, y compris les jetées, les digues et les autres installations de protection du littoral, sont colonisées par des communautés semblables et présentent les mêmes caractéristiques qui augmentent ou diminuent la persistance des hydrocarbures.

L'échelle ESI comprend quatre catégories et deux sous-catégories de côtes rocheuses et de côtes artificielles composées de substrats solides (ESI 1, 2, 6 et 8 -voir le tableau 1 aux pages 12 et 13) qui décrivent l'évolution probable et la persistance des hydrocarbures échoués sur ce type de côtes. Elles incluent, dans une certaine mesure, l'influence des pentes, des bassins et des autres caractéristiques. Cependant, l'hétérogénéité des habitats des côtes rocheuses rend souvent difficile toute prédiction des impacts ou de la persistance. La plupart des côtes exposées aux vagues comporte des zones abritées dans lesquelles les hydrocarbures peuvent persister. Certaines côtes abritées peuvent se composer de surfaces verticales exposées desquelles les hydrocarbures seront facilement éliminés.

Les patelles, les bigorneaux et les autres mollusques qui se nourrissent d'algues constituent un des groupes d'invertébrés caractéristiques des côtes rocheuses parmi les plus sensibles aux effets toxiques aigus des hydrocarbures. La mortalité des patelles a été maintes fois rapportée à la suite de déversements. Dans le monde entier, les patelles jouent un rôle important sur le plan écologique dans de nombreux habitats des côtes rocheuses. Elles constituent l'espèce privilégiée des programmes de surveillance des côtes rocheuses à proximité des infrastructures pétrolières. Des études ont montré que même de faibles quantités d'hydrocarbure frais sur le pied d'une patelle la contamineront et pourraient la faire tomber des rochers, sa survie étant alors peu probable. Cet effet a été démontré lors du déversement d'hydrocarbure suite au naufrage du *Sea Empress* survenu en 1996, à l'occasion duquel un taux de mortalité élevé des patelles (supérieur à 50 % en moyenne et à 100 % sur certaines surfaces) a été signalé sur les côtes gravement contaminées proches de la source du déversement. Cependant, lorsque des quantités importantes d'hydrocarbures vieillies provenant du même déversement ont atteint les côtes rocheuses après avoir passé huit jours en mer, les patelles contaminées de ces côtes ont été moins affectées en raison du niveau de toxicité bien inférieur de l'hydrocarbure.

Sur les sites exposés aux vagues dans lesquels les populations de patelles ont été gravement contaminées par le naufrage du *Sea Empress*. Les dernières traces d'hydrocarbures ont été éliminées par les tempêtes hivernales, la régénération de la communauté s'est faite en plusieurs étapes successives similaires à celles observées à la suite des autres déversements. En l'absence de la pression exercée par les patelles sur les algues vertes dont ils se nourrissent, celles-ci se développent rapidement pour former un dense revêtement recouvrant les rochers. Les algues brunes fucacées, qui sont très rares sur les côtes exposées aux vagues, ont colonisé la côte et sont devenues dominantes après un an. Elles ont persisté pendant près de trois ans avant d'être éliminées par l'action des vagues au fil de leur croissance. Pendant ce temps, les patelles juvéniles provenant des larves planctoniques ont rapidement grandi durant le premier hiver sur les algues alors abondantes. La densité de la population de patelles a atteint des niveaux très élevés après deux ans et la structure de la population a retrouvé les mêmes caractéristiques qu'avant les déversements après cinq ans.

Comme indiqué plus haut dans cette section, les amphipodes constituent un autre groupe d'espèces connus pour être sensibles à la toxicité des hydrocarbures. En outre, d'autres espèces se développent généralement dans les zones denses des herbiers des côtes rocheuses et dans les crampons de varech. Certaines études post-déversement ont décrit une disparition presque totale des populations amphipodes dans les habitats formés par les côtes rocheuses exposées à des concentrations élevées en hydrocarbures sur une courte durée. Cependant, une fois les concentrations en hydrocarbures revenues au niveaux ambiants, la régénération des populations concernées se fait dans un délai inférieur à deux ans et souvent en quelques mois.

Les hydrocarbures visqueux se collant et séchant sur des surfaces rugueuses ou se concentrant dans des poches pourraient provoquer un engluement des invertébrés. Les balanes sont des filtreurs présents en grand nombre dans les habitats des côtes rocheuses. La mortalité pourrait être élevée si les hydrocarbures se y



(a) Après une semaine : des patelles moribondes qui se sont détachées des rochers après avoir été contaminées par un hydrocarbure frais.



(b) Après trois mois : une patelle restée seule dans une zone habituellement très peuplée, entourée d'une épaisse couche d'algues vertes qui s'est développée à la suite de la disparition de la pression des patelles qui s'en nourrissent.



(c) Après trois mois : une couverture verte s'étend dans toute la Baie de West Angle et sur la côte adjacente.



(d) Après un an : l'étape suivante de la colonisation - le développement d'algues fucacées dans une zone dans laquelle les spores sont habituellement broutées par les patelles.



(e) Après un an : les balanes et les patelles ayant survécu sont toujours recouvertes par des algues vertes.



(f) Cinq ans après le déversement : repopulation par une communauté dominée par les patelles et les balanes caractéristique de ce site.

À gauche : exemples d'impacts et de régénération à West Angle Bay, Milford Haven, Pays-de-Galles, à la suite du déversement d'hydrocarbures du Sea Empress en 1996.

adhérait, et interrompait ou perturberait leur capacité à se nourrir. Après l'élimination des balanes ayant péri et des dépôts d'hydrocarbure persistants, la côte peut être recolonisée par de nouvelles populations de balanes et la régénération est généralement rapide.

Alors que la majorité des algues sont résistantes à la toxicité des hydrocarbures, certaines algues rouges sont relativement sensibles. Les algues corallinales notamment, qui peuplent habituellement les habitats des parties inférieures de la côte rocheuse et les cuvettes, pourraient blanchir et périr à la suite d'un contact avec des hydrocarbures. Les lichens, sur les parties supérieures des côtes rocheuses au-dessus du niveau de marée-haute, sont parfois vulnérables aux hydrocarbures projetés dans cette zone lors des intempéries. Ces plantes à la croissance lente, composées d'un symbiote spécifique d'algues et de champignons, peuvent être sensibles à l'engluement physique et les concentrations élevées en hydrocarbures dissous. La mortalité et la régénération lente des ensembles de lichen ont été décrites à la suite de nombreux déversements, et notamment le sinistre de l'*Erika* survenu en 1999 en Bretagne, France.

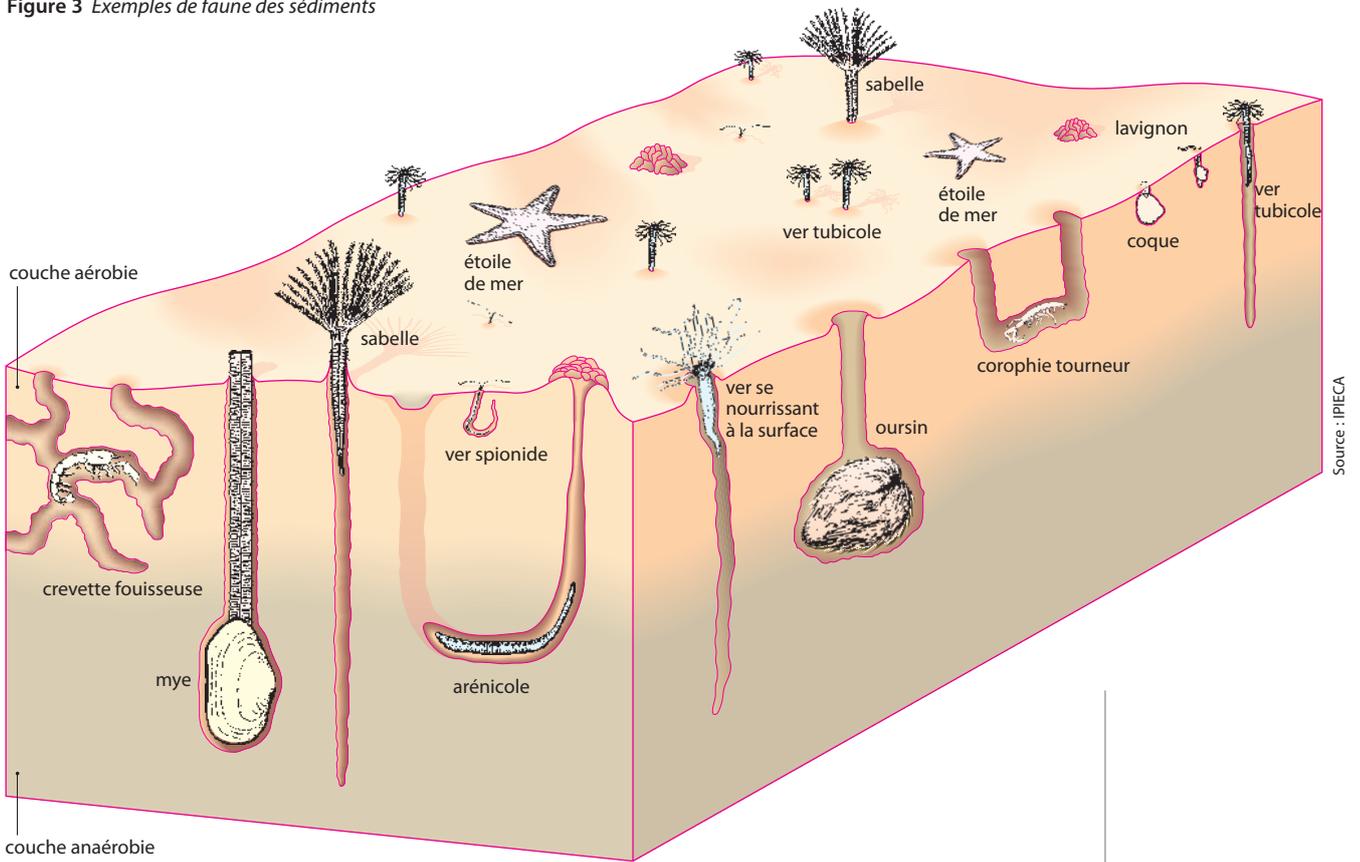
Des études comparatives des communautés d'algues des côtes rocheuses menées jusqu'à deux ans avant et moins d'un an après le naufrage du *Prestige* en 2002 sur les côtes de la Galice en Espagne, n'ont pas permis d'identifier des changements significatifs, même sur les sites qui avaient été gravement contaminés.

Les zones des côtes rocheuses dans lesquels les hydrocarbures visqueux sont susceptibles de persister incluent les fissures et les trous de la partie supérieure de la côte protégés par rochers, les cuvettes dans la roche sur les côtes protégées des vagues et les interstices situés entre ou sous les rochers et les graviers. Comme décrit dans la section précédente, ces résidus vieillissent habituellement pour se transformer en goudron et présenter une biodisponibilité très faible, tout en pouvant empêcher la colonisation sur leur surface. Dans les cas où la contamination est importante, il est possible que le goudron colmate les habitats côtiers et réduise la complexité de l'habitat. Ce fut tout particulièrement le cas à Curaçao, à la suite du sinistre du *Vivita* survenu en 1986, lors duquel une épaisse couche de goudron a colmaté des côtes de rocs et réduit les micro-habitats ombragés propice aux escargots et autres mollusques, à un tel point que la diversité des espèces avait chuté de 35 % après sept ans.

Côtes sédimentaires

Les sédiments de l'estran peuvent être composés de : plages de graviers ou de sable fin, de structures solides argileuses ou de mélanges complexes de particules minérales fines et grossières. Les côtes sédimentaires se composent entre autres de débris organiques. Leur porosité, leur potentiel à être meuble, la capacité de pénétration de l'oxygène, leur teneur en eau mais aussi leurs autres caractéristiques physiques et chimiques ayant un impact sur l'écologie marine, peuvent varier considérablement. La plupart des organismes vivants sur les côtes sédimentaires se cachent en-dessous de la surface (voir la figure 3 à la page 23). Certains de ces habitats peuvent présenter une diversité et une productivité n'ayant rien à envier à celles des communautés de surface. En fonction de la nature du sédiment et des autres facteurs environnementaux, les communautés d'animaux vivant au sein des sédiments peuvent comprendre des fortes densités de vers, crabes, amphipodes et autres crustacés, palourdes, anémones, concombres de mer et oursins. Ces organismes peuvent être de taille microscopique ou prendre la forme d'espèces de palourdes vivant longtemps et dépasser un kg. Les biologistes spécialistes des sédiments différencient traditionnellement les grands animaux (> 0,5 mm, appelés macrofaune) qui creusent leur terrier dans le sédiment et les petits animaux (appelés meiofaune) qui vivent dans les espaces interstitiels entre les particules des sédiments. Les herbiers forment des prairies denses sur certaines plages de sable, et diverses variétés d'algues, notamment les diatomées et les algues bleues-vertes, peuvent créer un film ou un tapis vert sur les vasières protégées.

Figure 3 Exemples de faune des sédiments



L'échelle ESI comprend six catégories de côtes sédimentaires (ESI 3, 4, 5 6, 7 et 9- voir le tableau 1 aux pages 12 et 13) en raison de la variété et la richesse des côtes sédimentaires mais aussi de l'effet qu'elles ont sur le devenir et la persistance des hydrocarbures qui y arrivent. L'écologie des côtes sédimentaires et les impacts que les hydrocarbures peuvent avoir varient considérablement en fonction principalement de l'exposition aux vagues, la composition du sédiment, la mobilité et les caractéristiques du drainage, l'apport en matières organiques, la salinité de l'eau et le climat. La plupart de ces facteurs sont étroitement liés.

Les côtes arctiques constituent des environnements rudes qui sont généralement faiblement colonisés.

Des sédiments plus ou moins meubles affectent significativement les communautés d'animaux et de plantes qui y vivent. Relativement peu d'espèces sont capables de tolérer l'instabilité des sables et des graviers exposés à des vagues puissantes et des courants forts. L'action de la glace de mer peut également être à l'origine de conditions difficiles, de nombreuses côtes arctiques étant très faiblement colonisées. La biomasse, la productivité et la diversité des espèces des communautés des côtes sédimentaires tendent à augmenter avec la stabilité de ces dernières. En outre, relativement peu d'espèces aquatiques sont en mesure de supporter les stress inhérents à la vie dans la partie supérieure des côtes à moins que le sédiment ne soit si vaseux et saturé en eau qu'elles sont protégées contre le dessèchement. Par conséquent, la quantité et la variété des formes de vie dans les sédiments bien drainés tendent à diminuer dans les parties supérieures de la côte.



Cependant, il est possible que les herbiers détachés et les autres débris organiques soient parfois déposés le long de la ligne de marée haute, dérogeant ainsi au principe énoncé ci-dessus. Ces matières déposées sur la laisse de mer sont dans une certaine mesure éphémères, leur quantité variant en fonction des saisons. Elles forment une couverture temporaire et constituent une source précieuse d'éléments nutritifs pour les écosystèmes des plages, c'est pourquoi elles sont rapidement colonisées par des animaux spécialisés, incluant les amphipodes (crevettes des sables), des insectes, des araignées et des scarabées. Ces animaux sont opportunistes, leur population fluctuant de manière significative. Cependant, ils jouent un rôle important dans la décomposition des matières accumulées sur la laisse de mer. Ils constituent également une proie privilégiée pour certains oiseaux. Comme tout hydrocarbure arrivant sur la côte tend également à se concentrer dans cette même zone, les communautés de la laisse de mer sont particulièrement vulnérables. Cependant, leur régénération est en principe rapide en raison de leur capacité naturelle de recolonisation rapide.

Les communautés des plages de sable à grains grossiers et meubles et des côtes de graviers (ESI 4, 5 et 6a) se composent généralement de populations clairsemées d'animaux opportunistes, petits (méiofaune) et mobiles aux durées de vie courte. Lorsque les hydrocarbures pénètrent dans les sédiments ou sont enfouis, ces communautés risquent d'être gravement affectées par leur toxicité aiguë. Cependant, la régénération consécutive à toute exposition à un hydrocarbure ou aux activités de nettoyage est en générale rapide sauf lorsque l'hydrocarbure persistant forme une source chronique de contamination.

Les communautés des côtes sédimentaires plus stables, notamment celles composées de sables fins et de sédiments vaseux (ESI 3a, 7 et 9a), sont très différentes d'une côte à l'autre en termes de composition des espèces, de modes de vie, de tailles et d'abondance. Elles peuvent également être très fragmentaires, ce qui n'est cependant pas aussi visible que sur les côtes rocheuses dans la mesure où les animaux vivent en-dessous de la surface. La vulnérabilité des animaux à un hydrocarbure arrivant à la côte dépend dans une large mesure de leurs modes d'alimentation. De nombreux invertébrés sédimentaires, y compris les vers polychètes, se nourrissent de matières organiques contenues dans les sédiments et ont très peu de contact avec la surface. Ils sont relativement bien protégés contre les hydrocarbures à la surface du sédiment, sauf lorsque ceux-ci pénètrent dans les sédiments ou est enfoui. Cependant, les organismes filtreurs et notamment les palourdes bivalves et les amphipodes, ainsi que les autres espèces dont les terriers sont irrigués par un débit constant d'eau oxygéné (par ex. les oursins perforants, certaines crevettes et crabes) sont particulièrement vulnérables à la toxicité aiguë des hydrocarbures. Ils sont susceptibles d'y être exposés même si les hydrocarbures ne pénètrent pas les sédiments ou ne sont pas enfouis. Les animaux exposés aux hydrocarbures dispersés finissent souvent par sortir eux-mêmes du sédiment, pour s'échouer et rester coincés sur la côte.

Les palourdes et les boulettes de goudron échouées sur une plage à Pembrokeshire, au Pays-de-Galles, lors du déversement d'hydrocarbures du Sea Empress, en 1996. L'analyse des tissus des palourdes a permis de confirmer la contamination par l'hydrocarbure déversé.



Lors du naufrage du *Sea Empress* survenu en 1996, des quantités importantes de coques, de palourdes et d'oursins ont été balayés sur les côtes de sable au Sud-ouest du Pays-de-Galles, bien que la contamination du sédiment soit demeurée négligeable. La plupart des palourdes et des oursins proviennent d'espaces situés juste en dessous du niveau de marée basse, dans la zone sublittorale peu profonde, où ils sont très nombreux et vulnérables aux hydrocarbures dispersés depuis le large et le littoral. En absence d'hydrocarbure persistant, la régénération était une fonction du processus naturel de recrutement et de croissance, la plupart des espèces affectées présentant un bon potentiel de recolonisation via les larves planctoniques recrutées à proximité au sein des populations non affectées. La régénération de la plupart des espèces était considérée comme complète au bout de deux ans. Cependant, la plupart des bivalves sont des organismes vivant longtemps, et certaines espèces n'avaient pas encore retrouvé leurs niveaux antérieurs au déversement.

Comme les moules et les huîtres, les palourdes de l'estran accumuleront également des concentrations en hydrocarbures dans leurs tissus, qu'elles sont incapables de métaboliser. En fonction de la concentration et de la toxicité des hydrocarbures, il est possible que les palourdes ne présentent aucun symptôme visible. Cependant, les études sur les effets des contaminations persistantes des sédiments vaseux consécutives au sinistre de l'Arrow survenu en 1970 ont permis d'établir une chute des taux de croissance des palourdes six années après le déversement.

Les amphipodes, comme indiqué à la page 16, sont sensibles à la toxicité des hydrocarbures. Certains sédiments de l'estran se caractérisant par des densités élevées d'amphipodes. Leur population est susceptible d'être appauvrie en cas d'exposition, même brève, de ses habitats, à des concentrations élevées en hydrocarbures solubles ou dispersés. Cependant, la régénération des populations affectées est généralement rapide.

Les crabes, dont beaucoup vivent dans des terriers, constituent une composante importante de nombreuses côtes sédimentaires intertidales des régions tropicales et subtropicales et peuvent dominer certains habitats. Il est possible que les hydrocarbures pénètrent en-dessous de la surface via les terriers, tuant les crabes et laissant des résidus persistants. Les vastes zones de vasières ont été contaminées lors du déversement de la guerre du Golfe survenu en 1991, des populations d'ocypodes et autres crabes fouisseurs étant gravement contaminées. La régénération a été rapide là où l'hydrocarbure n'a pu persister ou a été enterré à des profondeurs supérieures à celles de leur terrier. Cependant, 20 ans après le déversement, la recolonisation de nombreuses zones par les crabes demeurait impossible en raison de la présence d'hydrocarbures.

L'importance des côtes sédimentaires pour les oiseaux des zones humides, les tortues et les autres vertébrés est traitée aux pages 17 – 19.



Ci-dessus, à gauche : des vasières abritées à Dawhat ad-Dafi sur la côte du Golf Persique, en Arabie-Saoudite, contaminées par le déversement d'hydrocarbures survenu en 1991 lors de la Guerre du Golfe. Sur cette photographie, qui date de 2002, Don Aurand, qui a réalisé des études sur l'estran en 1992, à côté d'un trou utilisé comme site de prélèvement qu'il a creusé 10 ans auparavant. La présence du trou, après de nombreuses années, témoigne de la stabilité de l'habitat, résultant de la protection extrême contre les mouvements de l'eau et de l'absence d'activité biologique. Ceci explique pourquoi l'élimination naturelle de la contamination est si lente.

Ci-dessus, à droite : les terriers de crabes visibles sur la photographie sont demeurés inoccupés et sont toujours contaminés par des résidus d'hydrocarbures. Les expériences ont depuis montré que les crabes peuvent vivre dans ces sédiments contaminés, mais que la recolonisation est très lente.

Le déversement a perturbé les processus naturels de cet écosystème, le développement excessif des tapis d'algues bloquant les canaux et réduisant l'infiltration d'eau dans la partie supérieure de la vasière. Des mesures correctrices sont actuellement mises en œuvre et ont montré qu'un raclage délicat des canaux bouchés pouvait augmenter le débit d'eau et favoriser la recolonisation par les crabes.

Le fioul lourd déversé en 2002 lors du sinistre du *Prestige* a contaminé les plages de sable exposées aux vagues le long de la côte de la Galice, en Espagne, et s'est enfoui sous le sable à des profondeurs variables en de nombreux endroits. De faibles concentrations d'hydrocarbures persistent sept ans après le déversement. Les impacts sur les communautés de la plage, y compris la baisse de la diversité et des populations, ont été observés après six mois, mais plus aucun effet n'était détectable sept ans après le déversement.

Les analyses des sédiments côtiers affectés par le sinistre de l'*Hebei Spirit* survenu en 2007 à Taean, en Corée, soulignent une réduction des concentrations en hydrocarbures et de leur toxicité sur les plages de sable exposées sur une période de cinq ans. Cependant, des concentrations toxiques significatives demeurent dans les sédiments des vasières abritées.

Marais salants

Les marais salants (également appelés marais maritimes ou marais littoraux) se développent dans la partie supérieure de l'estran ou les côtes vaseuses abritées. Ces marais sont exposés à l'eau de mer lors des périodes de marée haute et sont dès lors vulnérables aux hydrocarbures flottant. Ils peuvent recouvrir une vaste superficie et sont structurés en étage en fonction de leur place dans l'estran. Ainsi, les zones inférieures, situées juste au-dessus des marées hautes de morte-eau, peuvent être dominées par une espèce de plante unique alors que d'autres plantes coloniseront et auront un avantage concurrentiel plus haut sur la côte. Les espèces de plantes sont généralement plus nombreuses dans les zones supérieures des marais, qui sont plus stables, moins souvent recouvertes par les marées et situées à proximité des communautés terrestres. Les communautés de plantes marécageuses varient également en fonction de la salinité, de la région et du climat. Elles abritent souvent des habitats importants pour les oiseaux, y compris les espèces nicheuses résidentes et les espèces migratoires au printemps et en automne. Les petits mammifères, amphibiens et reptiles peuvent être nombreux dans la partie supérieure des marais, alors que de petits poissons et des juvéniles de poissons se nourrissent et trouvent refuge dans les chenaux. Les mammifères plus grands évoluent dans les marais de

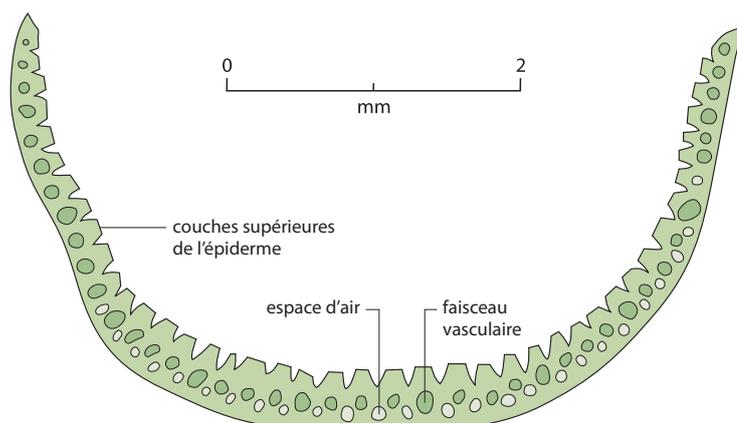
Un marais salant étendu.



certaines régions, alors que les fermiers utilisent parfois les marais comme terres de pâturage pour leurs moutons ou autre bétail. Les petits invertébrés, et notamment les vers, les crabes et les bivalves, peuvent être présents en forte densité dans les sédiments vaseux alors que de petits escargots se nourrissent généralement des tiges, feuilles et de sédiment de surface. Une grande variété d'algues est également présente.

Les feuilles dans les marais salants, qui sont souvent ondulées, présentent une surface importante sur laquelle les hydrocarbures peuvent adhérer (voir la figure 4). Les tiges et les feuilles des plantes peuvent ainsi être détériorées par engluement ou par toxicité chimique. Les hydrocarbures frais, légers et raffinés ont des effets toxiques aigus plus importants, alors que les hydrocarbures noirs vieillis et lourds ont un effet asphyxiant plus marqué. Les hydrocarbures s'échouant sur des sédiments vaseux peuvent les pénétrer via les terriers de crabes, de vers et les espaces vides laissés par les tiges et les racines des plantes mortes, et pourront ainsi détruire les racines vivantes. Cependant, la profondeur de la pénétration et ses effets varient significativement, en fonction de la toxicité aiguë et de la viscosité de l'hydrocarbure ainsi que de la densité et la taille des terriers et des trous. Comme pour les autres effets des hydrocarbures, plus la plante est contaminée, plus l'impact sera important.

Figure 4 Coupe verticale à travers une feuille de spartine, montrant la superficie importante des couches supérieures de l'épiderme



Source : IPECA

Une contamination relativement modeste par un hydrocarbure lourd est susceptible de recouvrir de vastes zones de plantes marécageuses. Cependant, en l'absence de pénétration de l'hydrocarbure dans les sédiments, il est probable que les racines survivront et que la plante survivra. C'est généralement le cas des espèces vivaces présentant de vastes systèmes de racines souterraines constituant des stocks importants de réserves nutritives (glucides et autres éléments nutritifs) pour la plante. Dans les zones tempérées, caractérisées par un cycle naturel de sénescence (dépérissement) durant l'hiver suivi par une repousse au printemps, ces plantes marécageuses vivaces reconstituent leurs stocks à l'automne puis les utilisent durant leur phase de repousse. Ainsi, une contamination substantielle d'un marais survenant en hiver pourrait avoir un effet limité sur la survie de la plante, le même déversement survenant à la fin du printemps, lorsque les réserves souterraines de nourritures ont été épuisées, étant susceptible d'avoir un impact bien plus marqué. La résilience des espèces vivaces dépendra également de la profondeur et de la taille des systèmes de racines.

Les espèces annuelles, composées de nombreuses espèces pionnières qui colonisent la partie inférieure des marais et les autres zones de sol nu sur la partie supérieure de la côte, sont moins résilientes dans la mesure où elles n'ont pas de réserves souterraines de nourriture et s'appuient sur le recrutement annuel via les semences.



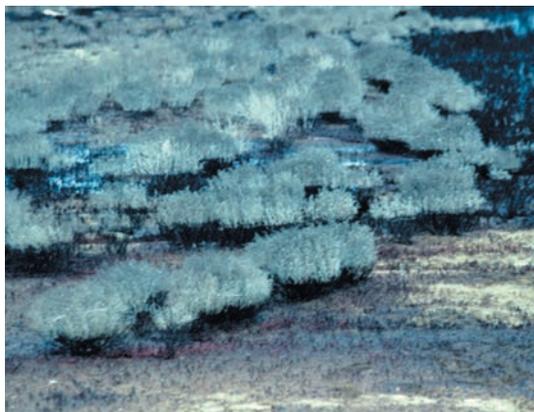
Michel et al., 2008

Le fuel léger (mélange du numéro 6 et du numéro 2) déversé en 2000 depuis le pipeline de Chalk Point, au Maryland, a pénétré à des profondeurs allant jusqu'à 30 cm dans les sédiments des marais saumâtres et se sont concentrés le long des cavités laissées vacantes par les racines des plantes marécageuses et les rhizomes (représentés sur la photo). Les sédiments de surface étaient, dans 25 % des échantillons, toujours toxiques pour les amphipodes même après sept ans. Les hydrocarbures ont également eu des effets modérés, mais significatifs sur le plan statistique, sur la biomasse végétale des marais (en-dessus et au-dessus des sols). Les auteurs de l'étude ont prédit une persistance de l'hydrocarbure dans les sédiments des marais pendant plusieurs décennies.

Si les quantités de graines provenant des zones voisines étaient faibles ou les graines étaient déposées sur la surface d'un sédiment toujours contaminé, la régénération pourrait s'avérer plus lente. Cependant, de nombreuses études de cas ont montré un niveau satisfaisant de recrutement d'espèces annuelles, au cours de l'année suivant le déversement.

Les études des marais salants réalisées en 1996 lors du naufrage du *Sea Empress* fournissent un exemple d'impacts limités et de régénération rapide. Un hydrocarbure brut léger avait recouvert des plantes

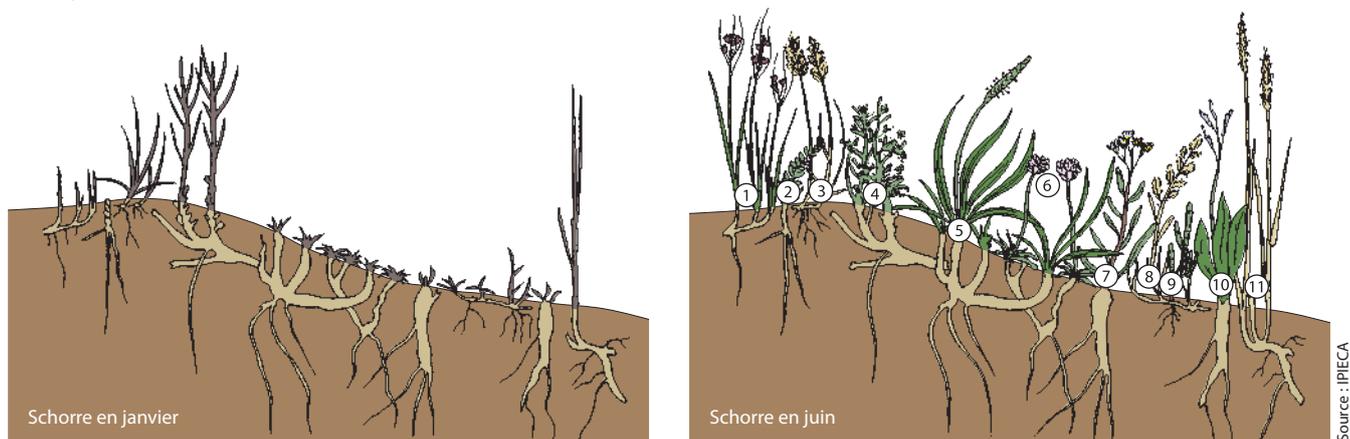
marécageuses dans plusieurs zones de Milford Haven, au Pays-de-Galles. Les études réalisées dans ces marais faisaient état de seulement quelques effets détectables, si bien que la plupart des plantes contaminées ont survécu et qu'aucune contamination significative du sédiment n'a été constatée. Une diminution négligeable des populations de deux espèces a été constatée après un an.



Un marais halophyte contaminé sur la côte du Golfe Persique, en Arabie Saoudite durant le déversement survenu en 1991 lors de la guerre du Golfe.

Cependant, la contamination modérée et significative par le fuel numéro 6 déversé en 2003 depuis la barge *Boucharde B-120* dans la Baie de Buzzards, dans le Massachusetts, a gravement affecté les marais et laissé des résidus persistants.

Figure 5 Les plantes d'un marais salant britannique en janvier et en juin, mettent en exergue les différences entre les espèces vivaces et les espèces annuelles



- (a) Les plantes d'un marais salant Britannique en janvier, mettant en évidence les parties protégées par la terre et la végétation ayant péri naturellement (la végétation morte est représentée en gris).
- (b) Les plantes en juin, avec les parties vulnérables aux hydrocarbures – les feuilles, les tiges et les fleurs. Les plantes annuelles comme la salicorne sont particulièrement sensibles dans la mesure où, à la différence des espèces vivaces, elles ne possèdent pas de vastes systèmes de racines avec des bourgeons protégés et des réserves de nourriture. En outre, la salicorne ne possède pas de réserve de semences persistante dans le sol si bien que si la plante meurt avant l'ensemencement, la recolonisation dépendra uniquement de la dispersion de semences venant d'autres zones.

Numéro

1. Juncus
2. Glaux
3. Fétuque
4. Armoise
5. Plantago
6. Armérie
7. Aster
8. Puccinellie
9. Salicorne
10. Limonium
11. Spartine

Les tentatives initiales visant à replanter certaines des zones affectées ont eu des résultats inégaux, et de vastes zones dénudées ont été signalées deux ans après le déversement. La durée de régénération a été estimée à plus de 10 ans.

Alors que les études des impacts des déversements d'hydrocarbures sur les marais salants sont principalement focalisées sur la végétation, des études relatives aux impacts sur la faune marécageuse, et notamment les crabes et les bivalves du sédiment, ont été réalisées après certains déversements. Voir le chapitre sur les côtes sédimentaires (pages 22 – 26) décrivant les effets sur les organismes vivants dans les sédiments de l'estran.

Les marais salants se développent généralement dans des zones qui ne sont pas exposées aux vagues et aux marées, si bien que l'élimination naturelle des hydrocarbures peut être lente, notamment s'il est visqueux ou s'il pénètre dans le sédiment. Dans certains marais, les hydrocarbures peuvent être enfouis sous les dépôts des sédiments. Les hydrocarbures recouverts par les sédiments ne peuvent dès lors plus être éliminés par l'action des vagues, alors que la biodégradation est généralement lente dans la mesure où les sédiments des marais salants sont généralement anoxiques (dépourvus d'oxygène). Dans une étude, les hydrocarbures enfouis dans un marais pendant 22 ans et hautement dégradés ont pu être identifiés comme du fuel lourd. Les études des sédiments marécageux contaminés par le sinistre du Macondo survenu en 2010 ont permis d'établir la



Dr Jennifer M. Baker

Photographie d'un marais salant de spartines à Milford Haven, au Pays-de-Galles, 22 ans après qu'un déversement de fioul ait contaminé le marais. Une analyse de l'hydrocarbure a permis d'établir qu'il était toujours identifiable comme un fioul lourd bien que hautement dégradé.

persistance de certains fragments d'hydrocarbure lourd, mais ont aussi fait état d'une dégradation rapide des fragments plus légers sous l'effet des bactéries sulfato-réductrices présentes dans des conditions anoxiques et de champignons décomposant les hydrocarbures. La persistance est généralement plus importante dans les sédiments renfermant des quantités plus importantes de matières organiques.

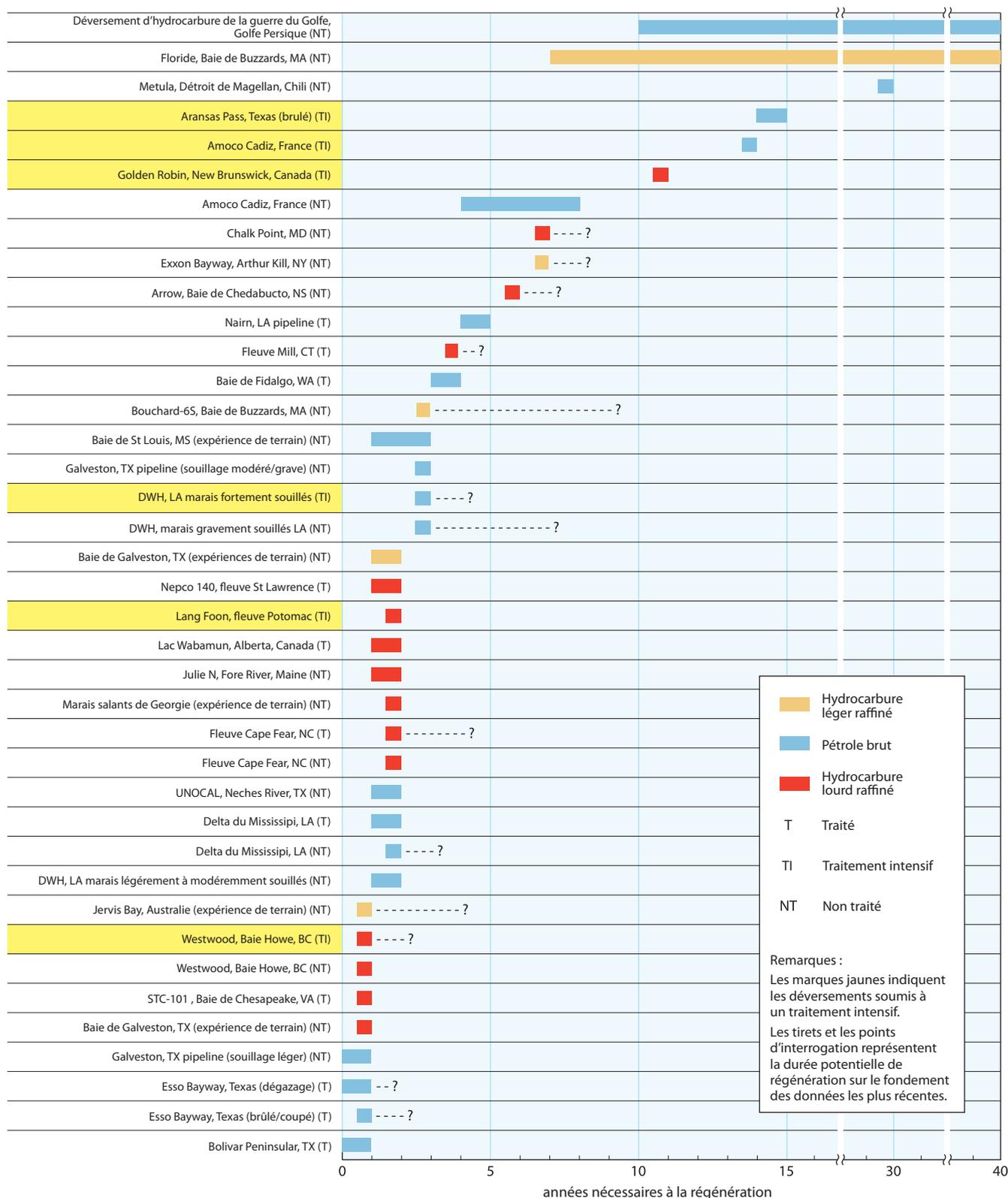
Sur l'échelle de l'ESI, la note la plus élevée est dès lors attribuée aux marais salants (ESI 10). Même si une note unique a été attribuée à tous les marais, les processus d'élimination naturelle peuvent varier en fonction des marais. Ceux situés le long des chéneaux estuariens seront exposés aux mouvements des vagues qui peuvent favoriser l'élimination des hydrocarbures, à l'inverse de ceux situés en arrière des vastes zones de vasières. La persistance des hydrocarbures constitue le principal facteur générant des impacts à long terme dans les marais. Les autres facteurs sont les traitements intensifs ou les espèces présentant un faible potentiel de recolonisation.

Sur 32 études suivant des déversements d'hydrocarbures (comprenant certaines expériences), environ la moitié estimait la durée de régénération des marais impactés à deux ans, un tiers à environ dix ans et six études à plus de dix ans. Dans trois des six études, la lenteur du processus de régénération était principalement due au traitement intensif (voir *Traitement du littoral et régénération* aux pages 36 à 44) alors que les trois impacts les plus durables, qui sont toujours identifiables, sont principalement dus à la persistance des hydrocarbures. Voir la figure 6.

À la suite du sinistre du *Metula* survenu en 1974 à Magellan Strait, au Chili, les marais ont été recouverts par d'épais dépôts d'hydrocarbures, dont certains sont encore visibles dans certaines zones. Les résidus solides résistent naturellement aux processus d'élimination et de biodégradation par les bactéries, cependant, les semences marécageuses germent dans certaines fissures et la croissance lente des plantes dans les climats froids les morcelle progressivement.

Lors du naufrage de la barge *Florida* survenu en 1969 dans la Baie de Buzzards, au Massachussettes, des dépôts de fioul domestique ont recouvert un marais dominé par la spartine à feuilles alternes (*Spartina alterniflora*), des crabes violonistes et des palourdes. Dans les zones les plus lourdement contaminées, les trois espèces présentaient un taux de mortalité élevé. Leur régénération a été progressive après la chute du niveau de toxicité dans les sédiments. Vingt ans après le déversement, les marais salants ressemblent aux autres zones non contaminées. Cependant, des concentrations élevées en hydrocarbures demeuraient dans les sédiments anoxiques des marais. Les études récentes ont montré que des concentrations élevées sont toujours présentes à certains endroits, de 8 à 20 cm en-dessous de la surface, et que les crabes violonistes ne font plus leur terrier dans les couches contaminées du sédiment, laissant présager un comportement d'évitement.

Figure 6 Durées de régénération des marais dans le cadre de divers déversements d'hydrocarbures et d'expériences de terrain



Source : adapté de Michel et Rutherford, 2014.

À droite : marais d'eau saumâtre sur le fleuve Plate à côté de Buenos Aires, en Argentine, après sa contamination lors du sinistre de l'Estrella Pampeana survenu en 1999. Les photographies ci-dessous illustrent les effets des activités de nettoyage intensif et la repousse rapide du marais, depuis le même point de vue, en janvier, avril et octobre 1999 et en novembre 2000. (22 mois plus tard).

La croissance rapide est néanmoins le fait d'espèces opportunistes plus que de la communauté naturelle, qui n'était pas complètement rétablie lors de la dernière étude de 2003. La régénération des zones marécageuses situées à proximité, qui ont été soumises au même niveau de contamination mais qui n'ont pas été traitées, a été rapide, aucune différence avec les zones non souillées n'ayant été identifiée en 2002.



Le déversement survenu en 1991 lors de la guerre du Golfe a contaminé une vaste zone sédimentaire abritée colonisée par des plantes marécageuses halophytes à croissance lente et longue durée de vie, les crabes fouisseurs et les tapis d'algues. Les hydrocarbures ont pénétré les sédiments via les terriers de crabes, la recolonisation par les halophytes et les crabes s'étant révélée lente. La régénération pourra nécessiter plusieurs décennies et la restauration est en cours (voir page 44).

Les études des impacts sur les marais salants du déversement d'hydrocarbures survenu en 2010 après le sinistre du Macondo sont en cours, les premières analyses ayant fait état de cas de mortalité des plantes marécageuses dans les zones souillées. Certains des marais les plus gravement souillés ont été traités afin d'éliminer les résidus persistants (voir la page 40). Certaines études sur les killies des marais salants réalisées en Louisiane ont prouvé l'existence d'effets sublétaux sur la morphologie des tissus, alors que d'autres études n'ont décelé aucune différence en terme de composition des espèces, de population et de taille des poissons des marais salants dans les sites souillés et non souillés, deux à trois ans après le déversement.

Mangroves

Les mangroves sont des habitats diversifiés et productifs sur le plan biologique, situés sur les littoraux abrités contre les vagues des régions tropicales et subtropicales. Les écosystèmes des mangroves sont dominés par les palétuviers (arbres ou arbustes) qui constituent la principale structure physique au sein de laquelle bien d'autres espèces vivent. Ils peuvent former des franges étroites le long d'estuaires et d'autres baies marines abritées ou des forêts denses dans les zones de deltas. Les communautés marines évoluant au sein des mangroves incluent généralement une variété d'algues et d'invertébrés attachés aux racines et aux troncs des arbres et des arbustes, d'autres invertébrés vivant à la surface des sédiments vaseux ou dans des terriers, des poissons vivants dans les chenaux ou se déplaçant avec la marée pour se nourrir dans la mangrove, des serpents de mer et d'autres reptiles et bien d'autres espèces d'oiseaux de marais qui se nourrissent des organismes vivants dans les sédiments et dans l'eau. La mangrove fournit également un habitat pour une grande variété de mammifères, d'oiseaux, d'autres vertébrés, d'insectes et de plantes. En outre, comme mentionné en introduction, les mangroves fournissent de nombreux services écosystémiques essentiels, dépendant largement de la stabilité de la structure créée par les systèmes racinaires des palétuviers.



IPIECA

À gauche : une mangrove dense de palétuviers noirs à Oman, composée de pneumatophores (racines respiratoires).

À gauche, ci-contre : coupe transversale de pneumatophores, montrant les tissus respiratoires spongieux.

Les arbres et arbustes des mangroves sont adaptés à la vie en eaux salées, leurs racines étant en mesure de s'adapter aux conditions anoxiques qui sont caractéristiques des sédiments vaseux dans lesquels elles se développent. Comme les racines ne peuvent puiser une quantité suffisante d'oxygène à travers le sédiment afin de répondre à leur besoin physiologique, elles ont évolué pour développer des structures respiratoires au-dessus de la surface du sédiment. Différentes formes de racines ont évolué, et notamment les racines de soutien des palétuviers rouges (*Rhizophora*), les pneumatophores des palétuviers noirs en forme de crayons (*Avicennia*) et les pneumatophores des plantes du genre *Sonneratia* en forme de tige, bien plus grandes. Les tissus spongieux respiratoires de ces structures sont reliés aux petits pores de surface appelés lenticelles. Lorsque ces pores sont bloqués, les racines peuvent manquer d'oxygène ce qui se répercutera négativement sur la plante. Si une grande proportion des pores étaient bloqués, la plante pourrait mourir. La perte des feuilles (défoliation) constitue un symptôme précoce de ce stress.

Un déversement d'hydrocarbures persistants pénétrant dans une mangrove est en mesure d'asphyxier les pores respiratoires des palétuviers et d'avoir des effets toxiques sur les racines. Les produits plus légers peuvent avoir des effets asphyxiants plus limités, mais générer une toxicité plus aiguë. Les études de cas réalisées à l'occasion des nombreux déversements dans les mangroves ont documenté ces impacts et prouvé que la contamination de plus de 50 % des racines respiratoires d'un arbre entraînerait vraisemblablement la mort de cet arbre. Suite à la défoliation, le processus de décomposition, qui peut survenir très rapidement dans les environnements chauds et humides, peut dès lors entraîner le dépérissement des arbres affectés et la perte des



Ci-dessus, à gauche : des racines de soutien de palétuviers rouges souillées à la suite du déversement d'un pipeline survenu en 2005 sur le fleuve de Coatzacoalcos, au Mexique.



Ci-dessus, au centre : les mangroves défoliées dans la baie de Guanabara, au Brésil, à la suite d'une contamination par un hydrocarbure déversé cinq mois auparavant.

Ci-dessus, à droite : les restes d'une mangrove dans le port de Mombassa, au Kenya, en 1991 ; la mangrove a été souillée par un déversement de fuel survenu en 1988, et a depuis repoussé.



habitats pour les espèces résidentes. Outre les impacts sur les arbres et les arbustes de la mangrove, les invertébrés vivant dans les sédiments de surface et sur les racines des mangroves seront également vulnérables. Les crabes, les autres crustacés et les escargots sont particulièrement sensibles, si bien que leur population risque d'être appauvrie.

L'abri procuré par les mangroves, notamment au sein même de celles-ci, signifie que tout hydrocarbure s'y infiltrant risque d'y demeurer, à moins que, par chance, il la traverse durant une marée haute. Le plus souvent, il reste concentré sur les berges ou les zones intertidales supérieures à l'intérieur de la mangrove et dans les bassins et les creux peu profonds à la surface du sédiment. Il est également probable qu'il se colle aux surfaces rugueuses des racines des mangroves avec lesquelles il entre en contact. Les sédiments des mangroves sont généralement peuplés par de nombreux crabes, certains gobies et d'autres espèces qui vivent dans des terriers susceptibles de constituer la voie par laquelle les hydrocarbures pénétreront le sédiment. Il est dès lors probable que les hydrocarbures persistent dans les mangroves et y demeurent pendant plusieurs années, notamment lorsqu'il est enfoui dans des sédiments anoxiques. La dégradation de l'hydrocarbure dans les sédiments de surface, peut néanmoins être rapide dans des conditions tropicales alors que la recolonisation naturelle par les semis (appelés propagules) peut intervenir la même année si la contamination en hydrocarbures est relativement légère. Cependant, la mortalité des plantules est susceptible d'être relativement élevée et leur croissance peut être lente lorsque la toxicité des sous-sols est toujours importante. La recolonisation par des espèces liées surviendra parallèlement à la recolonisation des arbres. Cependant, la pousse des arbres jusqu'à une taille pouvant soutenir la diversité associée à une forêt mature (par ex. des oiseaux faisant leur nid etc.) peut nécessiter plusieurs années.

Sur l'échelle de l'ESI, la note la plus élevée (ESI 10) est attribuée aux mangroves, à l'instar des marais salants. Si une note unique est attribuée à tous les mangroves, leur sensibilité à la contamination et leur potentiel d'élimination naturelle sont susceptibles de varier. Le substrat de certaines mangroves est relativement sableux, et présente une perméabilité élevée à l'oxygène, si bien que la mangrove s'appuie moins sur ces racines respiratoires. En outre, les mangroves situées le long des berges des chenaux, seront plus exposées aux mouvements de l'eau favorisant l'élimination des hydrocarbures. Les mortalités élevées des arbres suite à un déversement sont souvent enregistrées juste à l'intérieur des limites de la mangrove, là où les hydrocarbures se concentrent et ne sont pas éliminés par les courants plus forts situés en périphérie.

Les hydrocarbures bruts déversés en 1986 lors du sinistre du Bahia las Minas a souillé plus de 85 km de côte, et notamment des zones de récifs coralliens (page 35), des herbiers marins et des mangroves. Les hydrocarbures ont engendré des pertes substantielles notamment des palétuviers rouges, sur 27 km de côte et une réduction majeure des populations d'épibiotiques qui poussent sur leurs racines de soutien. Des mesures de restauration ont été entreprises afin d'accélérer la régénération de la mangrove, avec un certain succès. Cependant, la restauration des services écologiques de l'habitat mature a nécessité plusieurs années (voir *Restauration des littoraux* à la page 43).

Le déversement du *Solar* survenu en 2006 à Guimaras, aux Philippines, a entraîné la contamination des mangroves par un fuel lourd (numéro 6). La forte mortalité des palétuviers a entraîné la déforestation de vastes zones situées à l'intérieur de la mangrove, des concentrations élevées en hydrocarbures étant observées dans les sédiments de la mangrove. Les concentrations en hydrocarbures ont rapidement chuté dans les échantillons de surface alors que les concentrations de plantules ont progressivement augmenté, excepté là où les arbres morts ont été enlevés.

Récifs coralliens

Les récifs coralliens sont en majorité des habitats de la zone subtidale, cependant, de nombreux récifs frangeants incluent de vastes zones coralliennes qui sont en partie découvertes durant les marées basses. Ils tendent à être dominés par quelques espèces résistantes de coraux durs qui peuvent résister aux périodes d'émergence, mais fournissent des habitats à un grand nombre d'autres espèces. Une nappe d'hydrocarbures est dès lors susceptible d'asphyxier temporairement des coraux émergents et d'avoir des effets toxiques aigus. Cependant, il est peu probable que les hydrocarbures persistent sur les habitats du récif. Les zones subtidales peu profondes des récifs frangeants sont très productives et riches en biodiversité, et seront vulnérables et sensibles aux hydrocarbures dispersés. Les concentrations en hydrocarbure sont susceptibles d'être élevées dans les eaux peu profondes en raison du ruissellement de l'eau souillée sur la côte. Cependant, il est souvent difficile d'étudier ces zones.

En 1986, des quantités importantes d'hydrocarbures bruts déversées depuis le réservoir de stockage du terminal de Baha Las Minas à Panama ont affecté les mangroves, les récifs frangeants et les herbiers marins situés dans ces zones. Les coraux durs et mous, les algues coralliennes et les animaux vivant dans les tapis d'algues ont été affectés, principalement via un contact physique direct avec les hydrocarbures à la périphérie du récif. S'en est suivi un développement des tapis d'algues sur les coraux morts. La régénération aux conditions existantes avant le déversement des coraux et de la couverture d'algues a eu lieu en l'espace d'un an. Cependant, la régénération de certains animaux associés aux coraux a nécessité plus de temps. La superficie des herbiers marins a diminué et les densités de crevettes mantes ont chuté et étaient encore faibles cinq ans après le déversement. La contamination chronique par des résidus persistants d'hydrocarbures dans les mangroves voisines a eu des effets sublétaux durables sur la croissance du corail après cinq ans.

Les récifs coralliens sont traités de façon détaillée par le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur les impacts des déversements d'hydrocarbures sur l'environnement marin (IPIECA-IOGP, 2015a).

Ci-dessous, à gauche : vue aérienne d'un récif corallien aux Philippines. Les coraux émergents et les habitats des récifs peu profonds seront vulnérables et sensibles aux hydrocarbures flottants et dispersés.

Ci-dessous, à droite : le déversement du Baha Las Minas survenu en 1986 à Panama a souillé le récif frangeant et les autres habitats du littoral dans des zones déjà étudiées par les chercheurs du Smithsonian Tropical Research Institute.



Traitement et restauration du littoral

La présence d'un hydrocarbure persistant constitue la cause première de la lenteur des processus de régénération, c'est pourquoi il convient d'éliminer le plus tôt possible tout hydrocarbure à l'origine d'une contamination du littoral. Cependant, l'expérience acquise lors des opérations de lutte contre les déversements antérieurs a montré qu'il est possible de causer d'autres dommages en recourant à des méthodes de traitement inappropriée ou trop invasives. Malheureusement, il arrive souvent que les littoraux présentant le potentiel de persistance de l'hydrocarbure le plus important sont également ceux les plus sensibles aux techniques de nettoyage physique. Néanmoins, de nombreux enseignements ont été tirés alors que des approches modernes, incluant les techniques, les technologies, la gestion et la planification des opérations de lutte contre les déversements d'hydrocarbures ont été renforcées. La mobilisation d'un personnel bien formé et expérimenté constitue une exigence permanente, les dispositifs de formation constituant une composante essentielle des plans d'urgence actuels. Bien que de nombreux enjeux demeurent, les techniques de luttes appropriées permettront de réduire significativement les impacts d'un déversement d'hydrocarbures.

La présente section présente certains des enjeux environnementaux qui doivent être pris en compte dans le cadre des opérations de lutte menées sur le littoral, et indique les méthodes possibles pour les gérer. Chaque côte et chaque déversement possèdent des caractéristiques particulières qui soulèvent des enjeux différents. La mise en place d'un processus décisionnel efficace, incluant l'analyse des avantages environnementaux nets (NEBA) (voir ci-dessous) et une technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) (voir page 45), est nécessaire.

En fonction des options de luttes envisagées (NEBA)

Lors de la lutte contre un déversement d'hydrocarbures, plusieurs décisions opérationnelles sont prises par les centres de lutte afin de sélectionner les mesures qui permettront d'éliminer ou de traiter les hydrocarbures tout en réduisant les dommages causés aux ressources affectées. Le choix de certaines de ces techniques pourrait avoir des répercussions majeures sur l'environnement et les ressources socio-économiques. Le NEBA (Net Environmental Benefits Analysis) constitue un processus d'évaluation largement utilisé et structuré qui prend objectivement en compte les bénéfices et les impacts potentiels sur toutes les ressources soumises à une ou plusieurs options de nettoyage/de traitement, et les compare avec l'absence de mesure de lutte si nécessaire. Il n'existe aucune méthode standard, le processus pouvant se focaliser sur les ressources écologiques, ou englober une grande variété d'infrastructure, de ressources culturelles, économiques, archéologiques et les autres ressources naturelles de l'environnement.

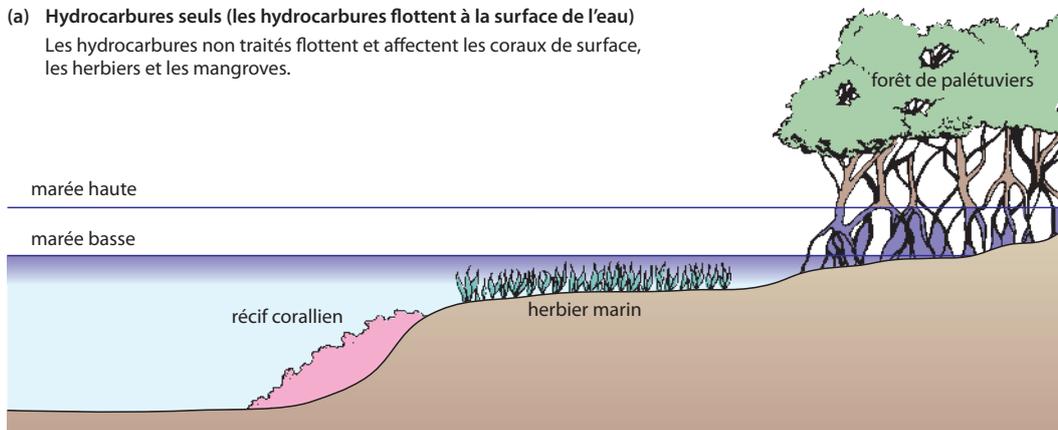
Parfois, il sera nécessaire de prendre des décisions sur la base de compromis entre différentes considérations environnementales et socio-économiques. Il s'agit avant tout de réduire les impacts à long terme en identifiant les situations générant un risque de persistance des hydrocarbures et en évaluant les options de lutte réduisant ce risque. La section sur l'évolution, la persistance et l'élimination naturelle des hydrocarbures (pages 6 à 13) souligne que le processus d'élimination naturelle peut permettre de traiter les hydrocarbures arrivés sur le littoral plutôt rapidement, mais il est souvent inacceptable pour les responsables des ressources économiques affectées de rester inactif pendant si longtemps., alors que Une autre technique d'évaluation consiste à comparer les avantages et les inconvénients de la lutte dans un marais salant souillé qui est utilisé par un grand nombre d'oiseaux, en examinant les risques de destruction du marais et les risques de contamination d'un grand nombre d'oiseaux, et en recherchant une option qui permettra de réduire durablement les deux types de risque.

L'existence dans les mangroves d'un risque élevé d'impacts graves et de la persistance à long terme des hydrocarbures a encouragé l'adoption d'une approche qui recommande parfois l'application de dispersants chimiques sur les hydrocarbures se dirigeant vers une mangrove. Dans certaines situations, lorsque les hydrocarbures ne peut être arrêtés dans leur dérive vers une mangrove, le recours aux produits dispersants peut réduire le niveau global d'impacts même si la profondeur de l'eau est inférieure à la limite généralement recommandée de 10 m et même si des ressources sensibles peuplent la zone subtidale peu profonde. Cette approche a été testée en 1984 des essais sur le terrain du projet TROPICS mis en œuvre à Panama et articulés

Figure 7 Two oil spill situations studied in the 1984 TROPICS experiment in Panama

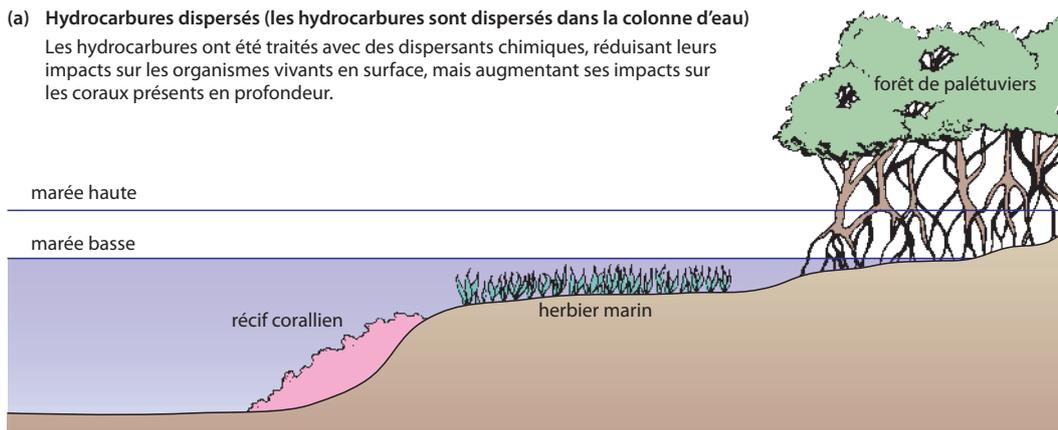
(a) **Hydrocarbures seuls (les hydrocarbures flottent à la surface de l'eau)**

Les hydrocarbures non traités flottent et affectent les coraux de surface, les herbiers et les mangroves.



(a) **Hydrocarbures dispersés (les hydrocarbures sont dispersés dans la colonne d'eau)**

Les hydrocarbures ont été traités avec des dispersants chimiques, réduisant leurs impacts sur les organismes vivants en surface, mais augmentant ses impacts sur les coraux présents en profondeur.



Source : IPIECA

autour de trois sites (chacun représentant une superficie de 1000 m²), composés d'une mangrove littorale et d'herbiers marins et de récifs coralliens lui étant étroitement liés. Ces sites ont été traités respectivement avec un hydrocarbure frais, un hydrocarbure dispersé et sans hydrocarbure (voir figure 7). Des études détaillées sur l'évolution des hydrocarbures, les impacts sur chaque habitat et leur régénération ont été réalisées. Les résultats de cette étude menée il y a déjà 30 ans font état de persistance à long terme (jusqu'à 25 ans) des hydrocarbures dans le site contaminé par des hydrocarbures non dispersés, mais aucun reste de contamination dans le site exposé aux hydrocarbures dispersés trois ans après l'exposition. Des taux de mortalité élevés des palétuviers (toujours visibles après 10 ans) et des impacts visibles à long terme sur la croissance des semis (au-delà de 25 ans) ont été observés dans le site contaminé par des hydrocarbures non dispersés. Alors que les impacts étaient très limités et brefs sur les mangroves du site exposé aux hydrocarbures dispersés. La couverture corallienne, les autres invertébrés coralliens et les poissons territoriaux ont enregistré un bref déclin sur le site exposé aux hydrocarbures dispersés (sur une année), suivi d'une augmentation sur tous les sites. Le recours à une NEBA permet de conclure que les hydrocarbures dispersés par voie chimique ont peut-être des impacts à court terme plus importants sur les ressources subtidales des eaux peu profondes que tout hydrocarbure non dispersé dans une mangrove, mais un impact environnemental global moindre. Cependant, les dispersants ne sauraient être appliqués lorsque l'échange d'eau est faible.

Pour une analyse complète de la méthodologie en question, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur l'utilisation de la NEBA dans le développement des stratégies de lutte (IPIECA-IOGP, 2015b).

Principales options de nettoyage

Un grand nombre de méthodes de traitement du littoral (« traitement » est ici utilisé pour désigner toutes les méthodes de nettoyage) ont été classées, testées et adaptées à des circonstances spécifiques. La section sur les *références bibliographiques* (pages 48 à 53) fournit des informations et manuels de nettoyage des déversements d'hydrocarbures contenant des descriptions détaillées sur les options disponibles. L'efficacité et les conséquences de toute méthode de traitement du littoral dépendent, dans une large mesure, de la façon dont elle est appliquée et de l'envergure de l'opération. De nombreux impacts potentiels sont liés à l'accès, à l'élimination des déchets et à la perturbation de la faune, cette constatation s'appliquant à toutes les méthodes de lutte énumérées ci-dessous. Le piétinement et l'utilisation de véhicules et de machines lourdes, notamment sur les sédiments meubles, dans les marais et les mangroves, sont susceptibles de générer des dommages physiques, le compactage des sédiments et la destruction des racines. Le piétinement est également susceptible d'enfouir les hydrocarbures dans les sédiments et de prolonger sa persistance. Un certain nombre d'études ont décrit de tels impacts, et notamment la perturbation physique à long terme et l'érosion résultant des opérations agressives de nettoyage des marais de l'île Grande suite au naufrage de l'*Amoco Cadiz* de 1978, la régénération des marais souillés mais non traités étant bien plus rapide. Plus récemment, un marais estuarien a été piétiné et sa régénération retardée par les activités de nettoyage entreprises en 2006 après le sinistre du *Westwood Anette* en Colombie britannique. Les différents manuels de nettoyage fournissent des orientations sur la gestion d'un grand nombre de travailleurs, sur les voies d'accès, les véhicules les plus adaptés, la circulation des sédiments, la réduction et la gestion des déchets, la réduction des perturbations causées à la faune et les autres bonnes pratiques de gestion. Il est vivement recommandé de déterminer le bon moment pour mettre fin aux opérations de nettoyage : cela nécessite de définir des critères de validation prenant en compte l'élimination effective des hydrocarbures ne générant pas d'impact excessif et promouvant la régénération naturelle. Pour en savoir plus, voire le Guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur les techniques de nettoyage du littoral (IPIECA-IOGP, 2015).

Les photographies ci-dessous illustrent les dommages causés à une mangrove par piétinement (à gauche) et une gestion défectueuse des équipements lourds sur les rives d'un fleuve (à droite) à la suite de deux déversements d'hydrocarbures.



Racines respiratoires des palétuviers piétinées lors du déversement d'hydrocarbures suite au naufrage du Coatzacoalcos, au Mexique, en 2005. Les équipes de nettoyage ont éliminé certains débris souillés, mais ont causé des dommages supplémentaires à la mangrove durant le processus.



Un usage trop zélé des véhicules lourds lors du nettoyage du sinistre du Worthy en 1989.

Peter Taylor

Les principales méthodes de nettoyage, leurs bénéfices et les impacts potentiels sur les ressources écologiques sont décrits ci-dessous :

- **Ne rien faire en vue d'une élimination naturelle** : aucune activité de nettoyage – cette méthode est habituellement choisie lorsque les impacts des activités de nettoyage sont considérés comme supérieurs aux bénéfices de l'élimination. Cette approche est principalement appliquée aux littoraux faiblement souillés. L'élimination naturelle des hydrocarbures doit être surveillée afin de s'assurer que son impact n'est pas supérieur à celui prévu. Le principal bénéfice de cette méthode est qu'elle ne cause aucun impact lié aux opérations de nettoyage. Néanmoins, les hydrocarbures sont susceptibles de contaminer d'autres ressources (par ex. les oiseaux) mais aussi de persister et de ralentir le processus de régénération de la communauté naturelle, ce qui constitue les principaux inconvénients de la méthode. Évidemment, l'absence apparente d'opérations de lutte clairement définies est susceptible de soulever de nombreux enjeux en termes de relations publiques et nécessitera le soutien des principales parties prenantes.
- **Mise en place de barrages de protection du littoral** : Les barrages flottants peuvent être utilisés afin de détourner les nappes d'hydrocarbures des habitats sensibles du littoral ou pour contenir les hydrocarbures sur une côte afin de favoriser sa régénération subséquente. Il existe un certain nombre d'enjeux pratiques et opérationnels qui peuvent réduire l'efficacité de ces techniques voire même générer certains impacts. Une forte amplitude de marées, et l'action des vagues rendent le recours aux barrages flottants très difficiles, même si cette technique peut dans certaines situations permettre de réduire la contamination de certaines sections du littoral.
- **Utilisation de barrières et de barrages** : Des barrières physiques incluant les barrages, les clôtures et les bermes de terre, peuvent être mises en place sur la côte ou au large afin de prévenir la contamination d'une ressource sensible (par ex. l'entrée d'un lagon) ou pour collecter les hydrocarbures en vue de leur élimination future. Cette option perturbera nécessairement les habitats côtiers sur lesquels seront construites ces installations, et pourrait générer des impacts sur les habitats qui dépendent de leur exposition aux mouvements des marées. Lors du blocage de chéneaux étroits, il est possible de mettre en place un dispositif permettant de faire circuler les eaux sous la surface tout en capturant les hydrocarbures flottants. Il est recommandé de surveiller les conditions prévalant dans les zones situées au-dessus de la barrière, et de rétablir un débit normal des eaux avant que les conditions se détériorent en-dessous des limites acceptables.
- **Élimination non invasive des hydrocarbures et des débris souillés libres** : l'élimination des hydrocarbures libres, sans éliminer ou perturber le principal substrat ou le biote caractéristique des habitats, constitue le principal objectif de la plupart des options de lutte sur le littoral. Dans sa forme la plus simple, cette méthode ne requière pas plus d'une personne munie d'un sac en plastique et de la tenue appropriée, qui ramassera les boulettes de goudron et les débris souillés. Cependant, un certain nombre de produits, d'outils et de machines dont l'utilisation peut être manuelle ou mécanique, incluant des absorbants, des racleurs, des décapeurs, des dispositifs d'aspiration (aspirateurs) et des machines de nettoyage des plages, ont été développés. L'élimination des hydrocarbures libres réduit le risque de remobilisation et de contamination des autres ressources et peut favoriser la régénération des habitats souillés. Dans de nombreuses situations, ces avantages surpassent largement les inconvénients. Cependant, dans d'autres situations, les impacts potentiels sont liés à l'accès au littoral et à la perturbation de la faune. Le recours aux absorbants augmente en outre la quantité de déchets devant être traitée.
- **Remaniement et déplacement des sédiments** : ces méthodes favorisent le nettoyage naturel du sédiment sous l'action des vagues et des courants, via le remaniement, le morcellement ou le déplacement du sable, des cailloux et des galets contaminés. Le déplacement peut nécessiter d'excaver et de transférer les sédiments souillés de la partie supérieure de la côte vers la partie basse de la côte où l'action des vagues est plus importante (nettoyage dans la zone déferlement, surf washing). et leur persistance est peu probable. Certains hydrocarbures sont susceptibles de se remobiliser pour contaminer d'autres ressources. Lorsque



Zengel, S. and Michel, J., 2013



Zengel, S. and Michel, J., 2013

Ci-dessus : le sinistre du Macondo survenu en 2010 a entraîné le souillage de marais salants dans certaines zones de la baie de Barataria, en Louisiane. Des séries d'essais des différentes méthodes de traitement des marais ont été réalisées le terrain et les résultats surveillés. L'accès au marais affecté, sans causer de dommages supplémentaires aux sédiments vaseux, a été facilité par la proximité des canaux et l'utilisation de barges à faible tirant d'eau, d'hydroglisseurs et de passerelles en planches. Les essais ont montré que le raclage associé au coupage manuel a permis d'éliminer de manière efficace les tapis de végétation souillée, et a favorisé la régénération du marais et des populations de crabes violonistes. La replantation des zones traitées avec des plantes marécageuses a permis d'accélérer la régénération (voir page 43) Cependant, la régénération naturelle a été considérée comme l'approche privilégiée pour la majorité des marais souillés à la suite de ce déversement.

cette méthode est mise en œuvre de manière appropriée, les impacts potentiels générés par la perturbation des habitats, l'enfouissement des organismes et l'augmentation temporaire de l'envasement sont limités, mais dépendront surtout des communautés présentes.

- **Élimination physique des substrats ou du biote fixes contaminés** : ce qui peut inclure des méthodes invasives d'excavation ou de raclage des sédiments souillés ou de coupage/retrait des algues ou des plantes. Alors que l'élimination des hydrocarbures réduit le risque de remobilisation et de contamination des autres ressources, l'élimination du substrat ou de la végétation pourrait générer des impacts significatifs sur les habitats et ralentir la régénération des communautés naturelles. L'élimination des sédiments peut dans certaines situations déclencher une érosion de l'arrière-plage. Afin de réduire la contamination plus rapidement que les processus naturels ne le permettent, la méthode employée devra permettre d'éliminer la quantité minimale de sédiment ou de végétation nécessaire. Le réapprovisionnement (parfois appelé rechargement) en sédiment importés sur la plage depuis d'autres zones, souvent dragués au large, est réalisé régulièrement sur certaines plages de loisirs populaires, mais ne constitue pas une méthode adaptée à toutes les plages.
- **Nettoyage à basse pression** : ces méthodes de nettoyage consistent à pomper et projeter de l'eau sur les habitats du littoral contaminé afin d'éliminer les hydrocarbures. Il existe plusieurs approches, se différenciant principalement en termes de volume et de pression des eaux pompées, et parfois en termes de température et de type d'eau. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour récupérer les hydrocarbures qui sont alors remobilisés, la plupart d'entre elles impliquant de renvoyer les hydrocarbures dans l'eau où il pourra être plus facilement confiné et récupéré. Dans de nombreuses situations, ces méthodes peuvent être utilisées pour mobiliser et récupérer des quantités importantes d'hydrocarbures sans générer des impacts significatifs sur les habitats. Cependant, les hautes pressions ou les quantités élevées d'eau sont relativement agressives et sont susceptibles de causer la destruction du sédiment, la modification de la nature du sédiment via la perte de particules fines, l'enfouissement des organismes, l'érosion des surfaces rocheuses planes et l'élimination des plantes et des animaux ainsi que l'augmentation temporaire de l'envasement. L'utilisation de l'eau chaude pour favoriser la démobilité d'hydrocarbures

plus visqueux et l'utilisation de d'eau douce plutôt que d'eau de mer pourrait générer des cas de mortalité supplémentaires. La mise en place de tranchées, ou de barrages pour concentrer les hydrocarbures peut également générer des impacts supplémentaires.

- **Brûlage contrôlé in-situ de la végétation contaminée** : dans certains marais contaminés, un brûlage « contrôlé » peut permettre l'élimination de quantités importantes d'hydrocarbures et la régénération de la végétation plus rapidement que cela aurait été le cas dans le cadre des seuls processus naturels. Cependant, l'efficacité du brûlage et les impacts potentiels sur les communautés marécageuses peuvent dépendre de plusieurs facteurs, y compris la période de l'année (de préférence en hiver), les espèces de plante, le type de sol (les sols tourbeux sont sujets à des dommages importants), le niveau d'eau (de préférence > 10 cm au-dessus du sédiment) et le type d'hydrocarbure. Certains brûlages ont permis une régénération rapide, alors que dans d'autres cas, la régénération des habitats a nécessité plusieurs années. En outre, il peut s'avérer difficile de contrôler un brûlage. De nombreux brûlages s'étant propagés bien au-delà des zones contaminées. Le brûlage contrôlé entrainera également la mort des animaux peuplant le marais qui ne sont pas protégés par une quantité suffisante d'eau ou de sédiments, en plus de créer de grandes quantités de fumée noire pouvant affecter les ressources locales. Un exemple de brûlage in-situ efficace ayant favorisé la régénération a été mis en œuvre après le déversement de plus de 5 000 tonnes d'hydrocarbures à la suite d'une fuite sur une installation pétrolière en Louisiane, causé par l'ouragan Katrina (voir les photographiques ci-dessus, à droite). Le brûlage a permis d'éliminer de 80 à 90 % de la contamination, la productivité en surface et souterraine du marais ayant été rétablie en l'espace d'un cycle de croissance.

- **Nettoyage à haute pression, nettoyage à vapeur et sablage** : elles sont souvent désignées sous le terme de techniques de « nettoyage fin » dans la mesure où elles sont généralement utilisées pour éliminer des quantités relativement faibles d'hydrocarbures vieillis fermement attachés à des substrats durs, notamment des zones de loisirs. Cependant, elles peuvent également éliminer le biote (par ex. les algues, les balanes,



US EPA, 2006



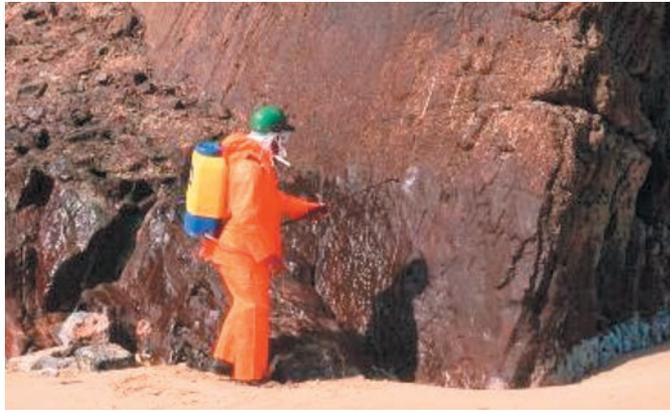
US EPA (2006)

Ci-dessus : brûlage in-situ d'un marais contaminé en Louisiane, à la suite de l'ouragan Katrina ; (en haut) après une heure de brûlage ; et (en bas) 5 mois après le brûlage.



Le nettoyage à haute pression permet d'éliminer les hydrocarbures mais a également le potentiel d'éliminer les organismes vivants. Le recours à cette méthode dépend au moins en partie de la vitesse de régénération prévue. La régénération de la communauté dominée par les balanes sur la gauche a nécessité moins de deux ans, en raison de l'installation annuelle de larves de balanes provenant du plancton. La régénération des lichens oranges sur la droite s'est avérée limitée ou nulle après dix ans, en raison de la lenteur de la croissance et de la recolonisation.

Dans certains cas, le traitement des résidus d'hydrocarbures à l'aide d'agents chimiques peut s'avérer approprié, notamment dans les zones de loisirs.



le lichen) attachés à la zone traitée et peuvent parfois entraîner l'effritement de la surface des substrats meubles ou friables. Il est recommandé d'avoir recours aux absorbants ou aux autres méthodes pour récupérer les hydrocarbures ainsi remobilisés. Les bénéfices écologiques sont plutôt limités sauf lorsque les résidus de goudrons potentiels couvrent les parties supérieures de la côte rocheuse à l'abri des vagues et empêchent ainsi la colonisation du biote.

- **Traitement par agents chimiques** : un certain nombre d'agents chimiques sont conçus pour être utilisés lors des opérations de nettoyage du littoral, incluant les agents de nettoyage de surface, les formules de dispersants et les agents solidifiant. Il s'agit également de techniques de « nettoyage fin » qui sont principalement utilisées pour éliminer des quantités relativement faibles d'hydrocarbure vieilli depuis les substrats solides dans les zones de loisirs. Elles peuvent en outre avoir des bénéfices semblables dans les parties supérieures des côtes rocheuses à l'abri des vagues. Les hydrocarbures remobilisés peuvent être dispersés ou flottants à nouveau, en fonction de l'agent chimique utilisé. Les hydrocarbures dispersés génèrent des concentrations élevées en hydrocarbures dans les eaux littorales et favorise la pénétration des hydrocarbures dans les sédiments des plages, bien qu'il s'agisse probablement d'effets limités dans le temps. Les agents de nettoyage de surface, qui soulèvent et font flotter les résidus d'hydrocarbure, sont généralement privilégiés.
- **Bioremédiation** : La principale approche de bioremédiation est la *biostimulation* dans le cadre de laquelle les éléments nutritifs (des fertilisants incluant généralement des formules de nitrates et de phosphates) sont appliqués afin d'accélérer les processus de dégradation microbienne naturelle. L'ajout excessif d'éléments nutritifs dans la zone affectée peut générer un risque d'eutrophisation (simulation excessive de la croissance des plantes). La réalisation d'un test de toxicité du produit de bioremédiation peut s'avérer appropriée. La *bioaugmentation* implique l'ajout de microorganismes décomposant les hydrocarbures dans une zone souillée dans le cas où les populations naturelles seraient considérées insuffisantes. Elle est utilisée régulièrement en cas de contamination des terres, mais s'est révélée inefficace sur les habitats des littoraux.

La première analyse des bénéfices écologiques et économiques en fonction des options de lutte envisagées a été réalisée après le naufrage de l'*Exxon Valdez* en 1989 dans la Baie du Prince William, en Alaska. Elle a notamment permis de se demander s'il était approprié d'utiliser des méthodes intensives de traitement du littoral afin d'éliminer les hydrocarbures qui avait pénétré les sédiments poreux de certaines côtes à des profondeurs allant jusqu'à un mètre. Le traitement proposé impliquait l'excavation des sédiments contaminés du littoral (des galets et des cailloux principalement), pour les laver au moyen de dispositifs de traitement monté sur barge et les replacer sur la plage. Cependant, la NEBA a conclu que le processus de déplacement du sédiment en vue de son remplacement aurait des impacts environnementaux surpassant considérablement les impacts générés par une régénération naturelle.

Conclusions

D'un point de vue écologique, la meilleure façon de favoriser le processus de régénération consiste généralement à éliminer une quantité maximale des hydrocarbures libres sans causer de perturbation physique majeure aux habitats, et de laisser le reste être nettoyé dans suivant les processus naturel. Cependant, il est possible que cette approche soit modifiée si la NEBA concluait que d'autres enjeux sont prioritaires.

Restauration environnementale du littoral

Dans certaines situations, les dommages causés au littoral par les hydrocarbures et/ou les activités de nettoyage peuvent justifier certaines formes de restauration (c'est-à-dire des actions supplémentaires au-delà du nettoyage) permettant d'accélérer la régénération. Certaines méthodes de restauration ont été éprouvées, testées, développées et adaptées et peuvent être classées en méthodes directes ou indirectes. Les méthodes directes impliquent une manipulation directe de l'habitat ou des populations touchées. Les méthodes indirectes favorisent la régénération naturelle de l'habitat endommagé en réduisant les autres stress auxquels il est exposé. Une approche alternative à la restauration consiste à compenser les impacts en remplaçant certains des services perdus fournis par l'habitat à d'autres endroits de la zone en question. De manière générale, ceci implique la création de nouveaux habitats ou la régénération d'habitats déjà affectés sur le littoral (généralement dans les zones humides) dans une zone côtière située dans la même région que l'habitat souillé dont la valeur écosystémique est réputée défailante. Cette méthode de compensation est utilisée dans certains pays pour pallier aux impacts sur les écosystèmes naturels et les services qu'ils proposent.

Les exemples de restaurations directes de littoraux souillés les plus réussies concernaient des marais salants et des mangroves. Une expérience considérable a été acquise en matière de régénération des zones humides dans de nombreuses régions du monde, plusieurs techniques ayant été mises au point afin de restaurer les équilibres hydrodynamiques, stimuler la recolonisation naturelle, replanter les sols nus, prévenir l'érosion et protéger les plantes restantes. La replantation des zones contaminées n'est pas toujours nécessaire mais est souvent réalisée dans le cadre d'un programme plus global, habituellement à l'aide de semis cultivés en pépinière. Cela est possible dans la mesure où ces deux habitats sont largement dominés par un petit nombre d'espèces de plantes qui se propagent rapidement. Le succès de la replantation n'est pas garanti, particulièrement s'il ne s'est pas passé assez de temps pour que la toxicité du sédiment diminue. La mise en place d'un programme progressif de plantation en plusieurs étapes peut s'avérer nécessaire. Il existe de nombreux exemples de programmes de restauration des marais salants souillés par des déversements d'hydrocarbures (par ex. *Amoco Cadiz*, Bretagne, 1978 ; le déversement du pipeline d'Exxon Bayway, New York, 1990 ; et le déversement de Chalk Point, Maryland, 2000) et des mangroves (pa ex. Baha las Minas, 1986 ; déversement de la raffinerie de Cartagena, Colombie, 1990 ; et Baie de Guanabara, Rio de Janeiro, 2000).

La replantation des marais salants suite au déversement du pipeline d'Exxon Bayway survenu en 1990 a été réalisée afin de stopper l'érosion des surfaces et la perte des plantes marécageuses. La survie des jeunes pousses et des pousses transplantées de *Spartina* a varié d'un site à l'autre. Trois ans après la plantation, la biomasse de surface sur deux des trois sites replantés était comparable à la biomasse des sites de référence, cependant, le niveau de survie est resté bas au sein du troisième site en raison, au moins partiellement, de l'action des vagues générée par le passage des navires.

La replantation des mangroves souillées à Panama, lors du déversement du Baha en 1986, s'est avérée dans un premier temps inefficace en raison de la toxicité résiduelle aiguë des sédiments contaminés. Un second programme de replantation s'est révélé plus efficace, mais après six ans, la densité des arbres était plus élevée dans les zones recolonisées naturellement, et il est possible que la replantation n'aie pas été nécessaire. L'érosion des jeunes plants, replantés ou ayant repoussé naturellement, aurait pu être réduite au moyen de mesures de protection.

*Mangroves restaurées
16 ans après la
plantation, à la suite
du déversement
d'hydrocarbures de
Bahia las Minas de 1986.*



Rene Bernier, Chevron

Des jeunes plants de palétuviers, à côté de Bangkok, en Thaïlande, plantés dans le cadre d'un projet de restauration suite à un déversement d'hydrocarbures.



La restauration des marais halophytes saoudiens gravement affectés par le déversement de la guerre du Golfe de 1991 est toujours en cours. Elle vise à favoriser la circulation des eaux vers les zones marécageuses en dégagant et débloquent les chéneaux, en stimulant la recolonisation naturelle des crabes fouisseurs et en décompactant le sédiment. Elle vise également à favoriser la repousse de la végétation marécageuse via la plantation d'halophytes vivaces. Les activités de restauration ont eu des résultats encourageants mais nécessiteront plusieurs années.

L'érosion du littoral est parfois amplifiée sur les zones qui ont déjà été impactées par les déversements d'hydrocarbure et les activités de lutte. Plusieurs techniques de restauration ont été conçues pour réduire de tels effets, notamment la technique des « littoraux vivants » qui implique généralement l'utilisation de brise-lames naturels et/ou artificiels pour stabiliser le littoral affecté et réduire l'action des vagues. De telles structures peuvent également fournir un habitat aux crustacés.

Évaluation et surveillances des littoraux souillés

Une composante essentielle des opérations de lutte contre les déversements d'hydrocarbure consiste à décrire le devenir et la distribution des hydrocarbures, les effets générés et le potentiel de régénération des ressources affectées. Ces informations sont utilisées pour : la planification des activités de nettoyage, l'évaluation du niveau de contamination des habitats et du biote (notamment ceux destinés à la consommation humaine), l'évaluation des impacts sur les communautés naturelles et les populations d'espèces sauvages, la gestion des ressources affectées, la préparation des demandes en indemnisation, et la communication avec le public.

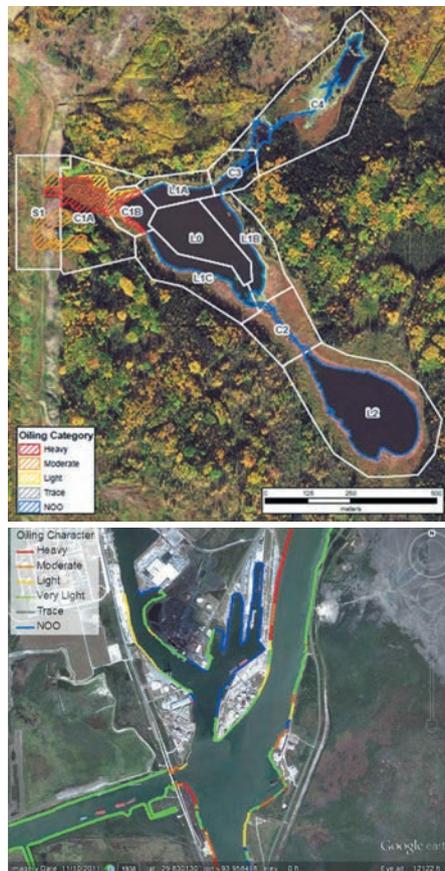
Des lignes directrices générales sur l'évaluation des dommages causés par les déversements d'hydrocarbures ont été publiées dans le Guide de bonnes pratiques de l'IEPCA-IOPG sur les impacts des déversements d'hydrocarbures sur l'environnement marin (IEPCA-IOPG, 2015a). D'autres guides détaillés sont disponibles dans certains pays et certaines régions. L'IMO/PNUE a publié un document d'orientation de portée internationale (IMO/UNEP 2009). Les principales activités d'évaluation applicables au littoral sont abordées ci-dessous.

Distribution et quantification des hydrocarbures contaminant le littoral

L'arrivage des hydrocarbures sur le littoral après un déversement est en principe très fragmentaire. Certaines ressources sont susceptibles d'être gravement affectées, alors que les ressources adjacentes ou situées à proximité peuvent demeurer intactes. Les informations sur la quantité et la distribution des hydrocarbures arrivés à la côte sont dès lors essentielles en vue de la planification des opérations de lutte sur le littoral, et alimenteront les études futures sur les impacts et la régénération.

Les études réalisées à l'aide de la technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) sont des études soigneusement structurées sur l'épaisseur, la nature et la distribution des hydrocarbures sur certaines sections du littoral, au moyen de formulaires standardisés et d'un personnel d'enquête dûment formé. Ces études sont généralement réalisées conjointement par des spécialistes environnementaux et du personnel de l'équipe de lutte et pourront être utilisées pour suivre les effets du traitement du littoral ou de la régénération naturelle. Outre la description de la distribution de l'hydrocarbures, les études SCAT peuvent également fournir des données précieuses sur les impacts les plus évidents, par ex. la faune morte, tordue ou visiblement souillée et les algues blanchies, qui peuvent constituer des états transitoires. Les études SCAT sont également conçues pour fournir des informations et des recommandations afin d'aider aux décisions en matière de traitement des plages et des ressources. Les recommandations ainsi formulées peuvent devenir une composante importante de la NEBA. Pour plus d'informations sur les techniques SCAT, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'IEPCA-IOPG sur les techniques d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage.

La quantification de l'exposition des communautés et de la faune du littoral aux hydrocarbures peut être réalisée dans le cadre d'une analyse chimique de l'eau, des sédiments et du biote, et d'opération d'échantillonnage généralement mises en œuvre à des intervalles de temps réguliers afin de



Des cartes SCAT présentant le statut de contamination du littoral : (en haut) une zone humide contaminée (segments en forme de polygone) et les berges d'un lac (segments linéaire) ; et (en bas) des segments linéaire du littoral sur une voie commerciale.

fournir des informations sur la durée d'exposition et afin de suivre l'évolution. Il convient en principe d'adopter une approche d'échantillonnage par étage qui fournira des données représentatives et objectives sur chaque ressource, à différentes hauteurs par rapport aux marées et pour différentes catégories de contamination, sur le fondement des données SCAT. Lorsque c'est possible, des échantillons de référence devront être prélevés depuis les côtes avant que les hydrocarbures déversés n'atteignent le littoral. Les échantillons prélevés avant le déversement peuvent s'avérer très précieux si stockés de manière appropriée. Des procédures rigoureuses d'échantillonnage doivent être mises en place pour s'assurer de l'absence d'autres contaminations depuis d'autres sources et garantir le traitement et le transport futurs des échantillons vers les laboratoires d'analyse et afin de se conformer aux procédures strictes de traçabilité.

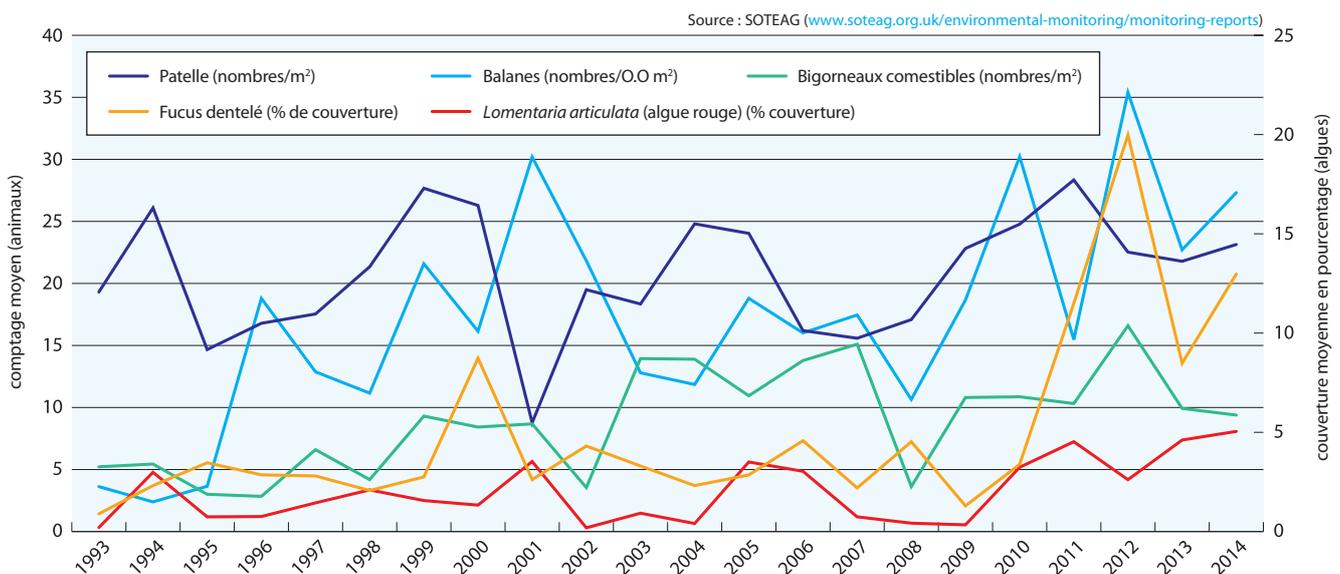
La sélection du biote littoral pour les analyses des concentrations en hydrocarbures dans les tissus dépend de l'habitat et des ressources concernés. Cependant, les bivalves, et notamment les moules, présents en quantités suffisantes et durables, sont généralement prélevés dans la mesure où il s'agit d'organismes filtreurs sessiles et d'importants bio-accumulateurs des hydrocarbures. La surveillance des concentrations dans les tissus permet de mettre en place des indicateurs utiles, intégrés au fil du temps et fournissant des informations sur le niveau d'exposition lors du déversement et le retour aux concentrations naturelles.

Ci-dessous : fluctuations des populations de cinq espèces sélectionnées enregistrées sur une période de 21 ans qui sont considérées comme naturelles et qui reflètent l'incertitude inhérente aux tentatives de détermination de l'ampleur et de la portée des impacts sur les ressources biologiques.

Évaluation et surveillance des impacts sur les communautés et le biote

La description de la distribution et du niveau de contamination par les hydrocarbures peut constituer une opération coûteuse et fastidieuse, les résultats devant être dûment contrôlés et interprétés. Cependant, elle permet de fournir des informations pertinentes sur les effets indésirables sur l'environnement. Ce n'est cependant pas le cas de nombreuses études relatives aux ressources biologiques et écologiques. La plupart des descriptions et des études de cas visées dans la section sur les impacts écologiques des hydrocarbures sur les littoraux (pages 14–35) emploient des termes qui reflètent un certain niveau d'incertitude quant à la portée de l'impact sur une ressources biologique, ou sur l'existence même de l'impact. Ceci s'explique par une

Figure 8 Fluctuations annuelles du nombre moyen d'espèces sélectionnées*



* Enregistré sur 15 sites de suivi à proximité du terminal pétrolier de Sullom Voe, Shetland Islands. Toutes les fluctuations enregistrées sont considérées comme naturelles.

incertitude latente. Les niveaux élevés de variabilité naturelle (fluctuations temporaires et dispersion spatiale) et les nombreuses autres causes potentielles de stress environnemental (facteurs de confusion) rendent souvent difficile l'interprétation des données biologiques et écologiques. Des lignes directrices sur l'évaluation des impacts soulignent souvent la quasi-impossibilité d'obtenir une preuve statistique et le risque d'interprétation erronée, pouvant mener à la détection d'un impact inexistant ou à la non-détection d'un impact réel.

Les connaissances sur la biologie et l'écologie de la plupart des espèces marines sont limitées, la nature accidentelle de tout déversement d'hydrocarbure empêchant tout contrôle expérimental. Le concept des programmes d'évaluation et de surveillance des impacts doit dès lors prendre en compte ces facteurs et les enseignements tirés des études antérieures. Lorsque c'est possible, les études d'évaluation doivent déterminer les conditions de référence et les changements dans les conditions naturelles du littoral avant le déversement. Que ce soit possible ou non, les études d'évaluation doivent viser à :

- établir le niveau d'exposition des communautés ou des ressources littorales aux hydrocarbures ;
- décrire un mécanisme réaliste (cheminement) expliquant la survenance de l'impact ;
- décrire l'impact, au moyen d'un ensemble de données collectées depuis les sites affectés et non affectés, dans la mesure où les conditions logistiques le permettent ;
- décrire le processus de régénération ; et
- fournir plusieurs ensembles de preuve pour chacun des processus.

Les preuves provenant de seulement un ou deux sites sont intrinsèquement faibles. La littérature publiée sur la régénération, et notamment la régénération à long terme, demeure relativement limitée, ce qui constitue un des travers de la lutte contre les impacts des déversements d'hydrocarbures. Très peu d'études ont duré plus d'un an ou deux.

Bibliographie

Manuels et documents d'orientation

IMO (1998). *Manual on Oil Pollution*. Section VI: IMO Guidelines for Sampling and Identification of Oil Spills. 44 pp.

IPIECA-IOGP (2014). *A guide to oiled shoreline assessment (SCAT) Surveys*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 504 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015). *A guide to shoreline clean-up techniques*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport 521 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015a). *Impacts of oil spills on marine ecology*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 525. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA/IOGP (2015b). *Élaborer une stratégie de lutte sur le fondement d'une analyse des avantages environnementaux nets (NEBA)*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 527. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015c). *Oil spills: inland response*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, déversement d'hydrocarbures Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 514. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA/IMO/IOGP (2012). *Sensitivity mapping for oiled spill response*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport de l'IOGP 477. <http://oilspillresponseproject.org>

NOAA (2010). *Characteristic Coastal Habitats: Choosing Spill Response Alternatives*. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 86 pp. Révisé en 2010; réédité en 2013.

NOAA (2010). *Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments*. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 76 pp. Révisé en 2010; réédité en 2013.

NOAA (2013). *NOAA Shoreline Assessment Manual. 4th Edition*. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 73 p + annexes.

Littérature sur le devenir et les effets des hydrocarbures

AMAP (2008). *Oil and Gas Activities in the Arctic: Effects and Potential Effects*. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway. www.amap.no/documents/18/scientific/21

Anderson, J. W. and Lee, R. F. (2006). Use of biomarkers in oil spill risk assessment in the marine environment. In *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 12, Numéro 6, pp. 1192–1222.

ASM (2011). *FAQ: Microbes & Oil Spills*. Publié par l'American Society for Microbiology par l'American Academy of Microbiol. 13 pp. <http://academy.asm.org/index.php/faq-series/436-faq-microbes-and-oil-spills>

Baca, B. J., Lankford, T. E., Gundlach, E. R. (1987). Recovery of Brittany coastal marshes in the eight years following the *Amoco Cadiz* incident. Proceedings of the 1987 International Oil Spill Conference. In *International Oil Spill Conference Proceedings: Avril 1987*, Vol. 1987, No. 1, pp. 459–464. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1987-1-459>

Baker, J. M. (1999) Ecological effectiveness of oil spill countermeasures: how clean is clean? In *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 71, No. 1, pp. 135–151.

Baker, J. M., Clark, R. B., Kingston, P. F. et Jenkins, R. H. (1990). *Natural Recovery of Cold Water Marine Environments After an Oil Spill*. Présenté au treizième séminaire annuel Arctic and Marine Oil spill Program Technical Seminar, Juin 1990, 111 pp.

Boehm, P. D., Page, D. S., Brown, J. S., Neff, J. M., Bragg, J. R. et Atlas R. M. (2008). Distribution and Weathering of Crude Oil Residues on Shorelines 18 Years After the *Exxon Valdez* Spill. In *Environmental Science and Technology*. Vol. 42, Numéro 24, pp. 9210–9216.

Boehm, P. D., Page, D. S., Brown, J. S., Neff, J. M. et Gundlach, E. (2014). Long-Term Fate and Persistence of Oil from the *Exxon Valdez* Oil Spill: Lessons Learned or History Repeated? In *International Oil Spill Conference Proceedings: Mai 2014*, Vol. 2014, No. 1, pp. 63–79. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2014.1.63>

DeMicco, E., Schuler, P. A., Omer, T. et Baca, B. (2011). Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) of Dispersed Oil on Nearshore Tropical Ecosystems: Tropics – the 25th Year Research Visit. In *International Oil Spill Conference Proceedings: Mars 2011*, Vol. 2011, No. 1, pp. abs282. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-282>

Hale, J. A., Cormack, C. D., Cotsapas, L., Montello, T. M., Langman, O., Gabriel, J. J. et Michel, L. (2011). Relationships Between Key Indicators of Environmental Condition and Degrees of Oiling in Sediments in Salt Marsh Habitats: a Balance Between Contamination and Ecological Recovery by Natural Processes. In *International Oil Spill Conference Proceedings: Mars 2011*, Vol. 2011, No. 1, pp. abs213. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-213>

Harwell, M. A. and Gentile, J. H. (2006). Ecological significance of residual exposure and effects from the *Exxon Valdez* oil spill. In *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 2, Issue 3, pp. 204–246.

IMO/UNEP (2009). *IMO/UNEP Guidance Manual on the Assessment and Restoration of Environmental Damage following Marine Oil Spills*. Édition de 2009 ; London, UK, 104 pp.

Integral Consulting Inc. (2006). *Information Synthesis and Recovery Recommendations for Resources and Services Injured by the Exxon Valdez Oil Spill*. Restoration Project 060783, Final Report. Integral Consulting, Mercer Island, WA 98040. Anchorage, AK.

Jones, D. A., Plaza, J., Watt, I., Al Sanei, M. (1998). Long-term (1991–1995) monitoring of the intertidal biota of Saudi Arabia after the 1991 Gulf War oil spill. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 36, No. 6, pp. 472–489.

King, G. M., Kostka, J. E., Hazen, T. C., Sobecky, P. A. (2015). Microbial Responses to the Deepwater Horizon Oil Spill: From Coastal Wetlands to the Deep Sea. In *Annual Review of Marine Science*, Vol. 7, pp. 377–401.

Law, R. J. and Hellou, J. (1999). Contamination of fish and shellfish following oil spill incidents. In *Environmental Geosciences*, Vol. 6, Issue 2, pp. 90–98.

Law, R. J., Kirby, M. F., Moore, J., Barry, J., Sapp, M. and Balaam, J. (2011). *PREMIAM – Pollution Response in Emergencies Marine Impact Assessment and Monitoring: Post-incident monitoring guidelines*. Science Series Technical Report No. 146, Cefas, Lowestoft, 164 pp.

Michel, J., Nixon, Z., Dahlin, J., Betenbaugh, D., White, M., Burton, D. and Turley, S. (2008). *Monitoring of Recovery of Marshes Impacted by the Chalk Point Oil Spill*. NOAA Office of Response & Restoration, Silver Spring, MD. 68 pp. + appendices.

Michel, J. et Rutherford, N. (2014). Impacts, recovery rates, and treatment options for spilled oil in marshes. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 82, Issues 1–2, pp. 19–25.

[doi:10.1016/j.marpolbul.2014.03.030](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.030)

Moore, J. (2006). *State of the marine environment in south west Wales 10 years after the Sea Empress oil spill*. A report to the Countryside Council for Wales from Coastal Assessment, Liaison & Monitoring, Cosheston, Pembrokeshire. CCW Marine Monitoring Report No. 21. 30 pp.

Moore, J. (2006). Long term ecological impacts of marine oil spills. In: *Proceedings of the Interspill 2006 Conference*, held at London ExCeL, 2–23 March 2006.

Moore, J. (2013). *Sullom Voe rocky shore transects monitoring, 1976 to 2012: summary of survey methods and database*. A report to SOTEAG from Aquatic Survey & Monitoring Ltd., Cosheston, Pembrokeshire. 16 pp + iii.

National Academy of Sciences (1985). *Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects*. National Academies Press, Washington D.C. 601 pp.

National Academy of Sciences (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, fates and effects*. Washington: National Academies Press, Washington D.C. 280 pp.

National Research Council (2005). *Oil Spill Dispersants: Efficacy and Effects*. National Academies Press, Washington D.C. 378 pp.

NOAA (1992). *An Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Report No. HMRAD 92-4
<http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Monterey.pdf>

NOAA (2010). *Oil Spills in Coral Reefs. Planning & Response Considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 82 pp.

NOAA (2010). *Oil Spills in Mangroves. Planning & Response Considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 70 pp.

NOAA (2013). *Oil Spills in Marshes. Planning & Response Considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 125 pp.

- Owens, E. H. et Sergy, G. A. (2003). Treatment and Cleanup Standards: The Development of End-Point Criteria for Oil Spills. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: Avril 2003, Vol. 2003, No. 1, pp. 1163–1169. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2003-1-1163>
- Owens, E.H. and Sergy, G.A. 2005. Time Series Observations of Marsh Recovery and Pavement Persistence at Three Metula Spill Sites after 30½ Years. In: *Proceedings of the 28th Arctic and Marine Oilspill Programme (AMOP) Tech. Seminar, Environment*, pp. 463-472.
- Price, A. R. G., Downing, N., Fowler, S. W., Hardy, J. T., Le Tissier, M., Mathews, C. P., McGlade, J. M., Medley, P. A. H., Oregioni, B., Readman, J. W., Roberts, C. M. and Wrathall, T. J. (1994). *The 1991 Gulf War: Environmental Assessments of IUCN and Collaborators*. A Marine Conservation and Development Report. IUCN, Gland, Switzerland. xii +48 pp.
- Reddy, C. M., Eglinton, T. I., Hounshell, A., White, H. K., Xu, L., Gaines, R. B. et Frysinger, G. S. (2002). The West Falmouth oil spill after thirty years: The persistence of petroleum hydrocarbons in marsh sediments. In *Environmental Science and Technology*, Vol. 36, Issue 22, pp. 4754–4760.
- Rice, S. D., Spies, R. B., Wolfe, D. A., Wright, B. A. (editors). (1993). *Proceedings of the Exxon Valdez Oil Spill Symposium*. American Fisheries Society, Symposium 18, held on 2–5 February 1993 at Anchorage, Alaska. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- SEEEC (1998). *The environmental impact of the Sea Empress oil spill*. Final Report of the Sea Empress Environmental Evaluation Committee. Her Majesty's Stationery Office, London, UK.
- Sell, D., Conway, L., Clark, T., Picken, G. B., Baker, J. M., Dunnet, G. M., McIntyre, A. D. and Clark, R. B. (1995). Scientific Criteria to Optimize oil spill Cleanup. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: February–March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 595–610. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-595>
- Shigenaka, G. (2014). *Twenty-Five Years after the Exxon Valdez Oil Spill: NOAA's Scientific Support, Monitoring, and Research*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Office of Response and Restoration. 78 pp. http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Exxon_Valdez_25YearsAfter_508_0.pdf
- US EPA (2006). *Cooperative Efforts to Use In-situ Burning in Empire, LA, in an Intermediate Marsh Following Hurricanes Katrina and Rita*. Amy Merten, Ph.D., NOAA Scientific Support/Biological Assessment. US Environmental Protection Agency Archive Document, Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER), Office of Emergency Management.
- Wells, P. G., Butler, J. N. and Hughes, J. S. (editors) (1995). *Exxon Valdez Oil Spill: Fate and Effects in Alaskan Waters*. Philadelphia (PA): American Society for Testing and Materials. ASTM Special Technical Report (STP) 1219.
- Wiens, J. A. (ed.) (2013). *Oil in the Environment. Legacies and Lessons of the Exxon Valdez Oil Spill*. Cambridge University Press. 458 pp.
- Zengel, S. et Michel, J. (2013). *Deepwater Horizon Oil Spill: Salt Marsh Oiling Conditions, Treatment Testing, and Treatment History in Northern Barataria Bay, Louisiana (Interim Report October 2011)*. U.S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 42. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA. 74 pp. http://response.restoration.noaa.gov/deepwater_horizon
- Zengel, S., Bernik, B. M., Rutherford, N., Nixon, Z. et Michel, J. (2015). Heavily Oiled Salt Marsh following the *Deepwater Horizon* Oil Spill, Ecological Comparisons of Shoreline Cleanup Treatments and Recovery. In *PLoS ONE*, Vol. 10, No. 7: e0132324. doi:10.1371/journal.pone.0132324.

Sites internet utiles

Interspill: www.interspill.org/previous-events

IOSC: www.ioscproceedings.org/loi/iosc

IPIECA: www.ipieca.org/library

ITOPF: www.itopf.com/knowledge-resources

NOAA: <http://response.restoration.noaa.gov/publications>

PREMIAM: <https://www.cefas.co.uk/premiam/publications>

Remerciements

Le présent document a été rédigé par Jon Moore (CALM) sous la tutelle du Groupe de travail sur les impacts.

IPIECA

L'IPIECA est l'association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement et les questions sociales. Elle développe, diffuse et promeut les bonnes pratiques et les connaissances afin de permettre à l'industrie d'améliorer son impact sur l'environnement et la société ; elle constitue le principal canal de communication de l'industrie avec les Nations-Unies. Grâce à ses groupes de travail conduits par les membres et à sa direction, l'IPIECA rassemble l'expertise collective des entreprises et associations pétrolières et gazières. Sa position unique au sein de l'industrie permet à ses membres de traiter efficacement les enjeux clés en matière environnementale et sociale.

www.ipieca.org



L'IOGP représente l'industrie des hydrocarbures en amont des organisations internationales, y compris l'Organisation maritime internationale, le Programme environnemental des Nations Unies (UNEP), les Conventions régionales dans le domaine marin et les autres groupes sous l'égide des Nations-Unies. Au niveau régional, l'IOGP représente l'industrie auprès de la Commission européenne, du Parlement européen et de la Commission OSPAR pour l'Atlantique Nord-Est. L'IOGP intervient de manière tout aussi importante dans la promotion des meilleures pratiques, notamment en matière de santé, de sécurité, d'environnement et de responsabilité sociale.

www.iogp.org



Guide sur les opérations d'évaluation de la pollution du littoral (SCAT)

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en matière de gestion des accidents et de personnel d'intervention d'urgence



IPIECA

Association Internationale de l'industrie pétrolière pour la Protection de l'Environnement

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 7633 2388 Télécopieur : +44 (0)20 7633 2389
Courriel : info@ipecica.org Internet : www.ipecica.org



Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP)

Siège social

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 3763 9700 Télécopieur : +44 (0)20 3763 9701
Courriel : reception@iogp.org Internet : www.iogp.org

Bureau de Bruxelles

Boulevard du Souverain 165, 4e étage, B-1160 Bruxelles, Belgique
Téléphone : +32 (0)2 566 9150 Télécopieur : +32 (0)2 566 9159
Courriel : reception@iogp.org

Bureau de Houston

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, États-Unis
Téléphone : +1 (713) 470 0315 E-mail : reception@iogp.org

Rapport 504 de l'IOGP

Date de publication : Janvier 2014

© IPIECA-IOGP 2016 Tous droits réservés.

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système d'extraction ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, mécanique, photocopie, par enregistrement ou autre, sans le consentement écrit préalable de l'IPIECA.

Exonération de responsabilité

Bien que tous les efforts possibles aient été fournis pour assurer l'exactitude des informations contenues dans cette publication, ni l'IPIECA, ni l'IOGP, ni aucun de leurs membres passés, présents ou futurs ne garantissent leur exactitude ou n'assument la responsabilité d'une quelconque utilisation prévisible ou imprévisible de cette publication, même en cas de négligence de leur part. Par conséquent, ladite utilisation se fait aux risques et périls du destinataire, avec la convention que toute utilisation par le destinataire constitue un accord avec les conditions de cet avertissement. Les informations contenues dans cette publication ne prétendent pas constituer des conseils professionnels de différents contributeurs de contenu, et ni IPIECA, ni l'IOGP ni ses membres n'acceptent quelque responsabilité que ce soit pour les conséquences de l'utilisation ou la mauvaise utilisation de la présente documentation. Ce document peut fournir des indications qui viennent compléter les exigences de la législation locale. Cependant, rien dans les présentes n'est destiné à remplacer, modifier, abroger ou autrement déroger à ces exigences. En cas de conflit ou de contradiction entre les dispositions de ce document et la législation locale, les lois applicables prévaudront.

Guide sur les opérations d'évaluation de la pollution du littoral (SCAT)

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en matière de gestion des accidents et de personnel d'intervention d'urgence

Préface

Cette publication fait partie de la série du Guide des bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, qui résume les opinions actuelles en matière de bonnes pratiques sur des sujets variés relatifs à la préparation et à l'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures. Cette série vise à aider à aligner les pratiques et les activités du secteur, à informer les parties prenantes et à servir comme outil de communication pour promouvoir la sensibilisation et l'éducation.

Elle met à jour et remplace la célèbre « Oil Spill Report Series » de l'IPIECA, publiée entre 1990 et 2008. Elle couvre des sujets qui sont largement applicables à l'exploration comme à la production, ainsi qu'aux activités d'expédition et de transport.

Les révisions sont entreprises dans le cadre du Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (le JIP, « Oil Spill Response Joint Industry Project »). Le JIP a été créé en 2011 pour mettre en œuvre des occasions d'apprentissage en matière de préparation et d'intervention contre les déversements d'hydrocarbures, suite à l'incident de contrôle de puits d'avril 2010 dans le golfe du Mexique.

Les rapports IPIECA de la série d'origine seront progressivement retirés à mesure de la publication des différents titres de cette nouvelle série du Guide des bonnes pratiques au cours des années 2014–2015.

Remarque sur les bonnes pratiques

Les « Bonnes pratiques » dans le contexte du JIP sont l'énoncé de directives, de pratiques et de procédures internationalement reconnues qui permettront à l'industrie du pétrole et du gaz d'assurer des performances acceptables en matière de santé, de sécurité et d'environnement.

Les bonnes pratiques pour un sujet particulier changeront au fil du temps à la lumière des progrès de la technologie, de l'expérience pratique et des connaissances scientifiques, ainsi que des changements dans l'environnement politique et social.

Table des matières

Préface	2	Comment un programme d'évaluation des côtes polluées est-il mis en œuvre ?	23
Comment utiliser ce guide	4	Planification et stratégies d'évaluation	23
Qu'est-ce qu'une évaluation du littoral ?	5	<i>Portée du projet</i>	23
Pourquoi le programme d'évaluation du littoral pollué est-t-il important ?	6	<i>Segmentation</i>	23
Quels sont les objectifs d'un programme d'évaluation de la pollution du littoral ?	8	<i>Coordination avec le personnel opérationnel</i>	23
Objectifs de la phase initiale ou phase réactive	8	<i>Coordination avec les parties prenantes</i>	23
Les objectifs de la phase de planification	9	<i>Les exigences applicables aux évaluations sur le terrain</i>	24
Les objectifs de la phase opérationnelle	9	<i>La gestion des données</i>	25
Objectifs de la phase de validation	9	Les considérations temporelles et spatiales	26
Comment un programme d'évaluation des côtes s'intègre-t-il à un programme de lutte mis en place sur des littoraux ?	10	Quels types de données sont générées ?	27
Quels sont les participants à un programme d'évaluation de la pollution du littoral ?	11	Comment les programmes de traitement du littoral sont-ils clôturés ?	30
L'intégration à l'organisation de gestion de la lutte	11	Reconnaitances du littoral et rapports	30
Participation de l'équipe d'évaluation de la pollution du littoral	11	Les recommandations en matière de traitement du littoral (STR)	30
Quelles sont les exigences principales en matière d'information des décideurs ?	14	Approbation et validation	30
La distribution de l'hydrocarbure échoué	16	Annexe 1 : Exemple de formulaire de consignation des activités d'évaluation de la pollution du littoral	32
Les options et contraintes de traitement	20	Annexe 2 : Liste de tâches du programme d'évaluation de la pollution du littoral	34
<i>Critères de validation du traitement</i>	20	Acronymes	36
<i>Les recommandations en matière de traitement du littoral (STR)</i>	20	Remerciements	36
<i>Les contraintes inhérentes au traitement – les bonnes pratiques de gestion</i>	21	Bibliographie	37

Comment utiliser ce guide

Opérations d'évaluation de la pollution du littoral – également appelées technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) – comme composante essentielle des opérations de lutte. Les informations recueillies par les équipes d'évaluation sont utilisées par les responsables des opérations de lutte afin de définir les objectifs, les priorités, les contraintes et les critères de validation ; elles sont essentielles pour appuyer les opérations de planification, la prise de décision et la mise en œuvre d'un programme effectif de lutte sur le littoral.

Ce guide explique en quoi un programme d'évaluation de la pollution du littoral constitue-t-il un élément essentiel de la lutte, et souligne les avantages des opérations systématiques d'évaluation. En outre, le guide explique pourquoi et comment un programme efficace d'évaluation de la pollution du littoral peut appuyer les procédures de planification, les processus décisionnels et la procédure de mise en œuvre, dans le cadre d'une lutte menée sur la côte, et de quelle façon les principales composantes des opérations d'évaluation de la pollution du littoral sont intégrées à la phase de génération des données, à la prise de décision, ainsi qu'à la mise en œuvre et la clôture d'un programme de lutte sur le littoral.

Les éléments clés de la procédure d'évaluation de la pollution du littoral sont également abordés sous l'angle des informations collectées et des objectifs poursuivis par les décideurs qui les exploitent. Le mode de collecte des données est décrit, et une liste de vérification est fournie pour guider les activités spécifiques de terrain et de gestion dans le cadre d'un programme d'évaluation de la pollution du littoral. Cependant, il convient de garder à l'esprit que le présent rapport est censé constituer un guide plutôt qu'un manuel opérationnel. Le guide présente le principal concept applicable aux segments et à la segmentation des côtes ; il s'agit d'une méthode gouvernant les opérations d'évaluation systématique et de gestion des données et des informations générées. Les différents types de recommandations, de cartes et de tableaux qui sont générés au fil de la procédure de gestion des données illustrent la façon dont les données opérationnelles sont exploitées dans le cadre d'un programme de lutte sur le littoral.

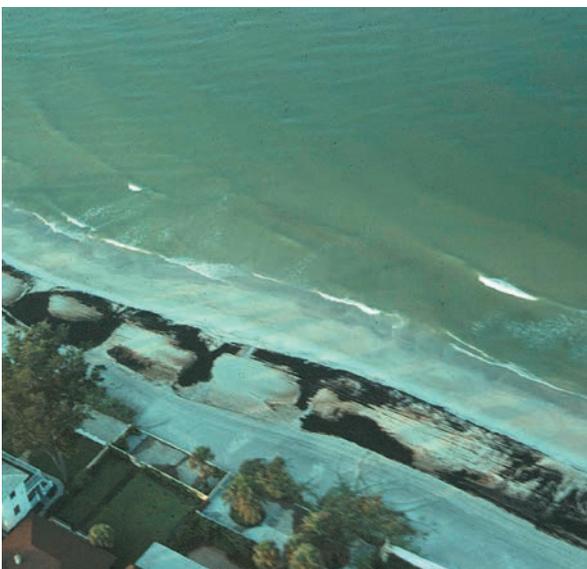
Qu'est-ce qu'une évaluation du littoral ?

Malgré tous les efforts déployés dans le cadre des opérations de lutte menées sur l'eau contre un déversement d'hydrocarbures en mer ou en rivière, il est probable qu'au moins une partie des hydrocarbures déversés finissent par atteindre le littoral. En cas d'impact sur les côtes, ou lorsque de tels impacts sont probables, l'évaluation du littoral est un élément critique du programme de lutte et fournit des informations essentielles pour la détermination des objectifs, des priorités, des contraintes et des critères de validation d'une lutte efficace en zone côtière.

Les opérations d'évaluation de la pollution du littoral sont mises en œuvre afin de :

- définir et documenter l'envergure et la nature de la pollution du littoral ;
- identifier et documenter le type et les caractéristiques du littoral à l'intérieur de la zone touchée ;
- émettre des recommandations sur les critères de validation du traitement et les techniques de traitement générant un bénéfice écologique net (voir l'encadré 5 à la page 21) sur la base de faits scientifiques avérés ;
- fournir un soutien au fil du programme de traitement permettant de s'assurer que le personnel en charge des opérations de nettoyage du littoral comprend les attentes et les inquiétudes des responsables des opérations de lutte ;
- définir une procédure de clôture une fois le traitement terminé ; et
- impliquer les représentants concernés afin d'avoir un consensus tout au long du programme de lutte en zone côtière.

Les objectifs des opérations d'évaluation de la pollution du littoral sont susceptibles d'évoluer en fonction du déroulé des phases de la lutte. Durant la phase initiale ou réactive, les informations générées dans le cadre de l'évaluation définissent l'étendue globale de la zone touchée et la nature de la pollution de la côte et permettent aux équipes de nettoyage de se concentrer sur les sites bénéficiant d'une priorité élevée. La phase de planification se caractérise par des opérations systématiques d'évaluation fournissant des informations détaillées et des recommandations argumentées sur les méthodes de traitement des zones dans lesquelles des opérations de nettoyage doivent être mises en œuvre, ainsi que par des activités de soutien aux équipes de nettoyage permettant de s'assurer qu'ils comprennent les objectifs et les stratégies du programme de lutte. De manière générale, les équipes d'évaluation se composent des représentants des agences et ou des propriétaires/des responsables des terres dans la zone touchée afin de s'assurer qu'ils participent au processus d'évaluation. Ces mêmes équipes d'évaluation inspectent les sites après les opérations de traitement afin de s'assurer que les objectifs spécifiques au site ont été remplis et que les équipes de nettoyage peuvent être déployées sur d'autres zones.



À l'extrême gauche : la pollution du littoral est généralement discontinue. À gauche, ci-contre : les équipes d'évaluation du littoral au travail.

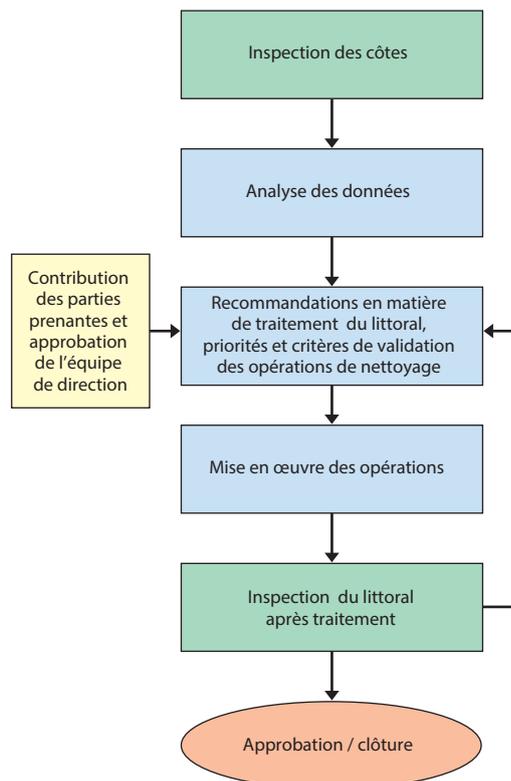
Pourquoi le programme d'évaluation du littoral pollué est-t-il important ?

Un programme d'évaluation de la pollution du littoral bien géré permet de générer des données systématiques tout en garantissant l'entière participation des parties prenantes dans le cadre du processus de gestion de la lutte. Un programme d'évaluation de la pollution du littoral fournit :

- une documentation complète sur l'état de la pollution et du littoral ;
- des données scientifiques et des recommandations objectives et argumentées ;
- des mesures, terminologies et descriptions standards ;
- des stratégies de traitement recommandées ;
- les critères de validation recommandés pour la réception du segment ;
- les informations sur les contraintes opérationnelles, les enjeux en matière de sûreté et de sécurité ;
- les données sur les contraintes écologiques, culturelles, et socio-économiques ;
- l'application des bonnes pratiques de gestion ;
- une procédure de gestion de la prise de décision incluant la contribution des parties prenantes et du régulateur ;
- le suivi de l'avancement du traitement ;
- des équipes d'inspection formées et étalonnées pour les évaluations finales ; et
- toutes autres données qui peuvent s'avérer utiles à d'autres fins, et notamment l'évaluation des dommages et les études en matière de restauration.

Sans de telles informations, la planification efficace de la lutte et la structuration du programme de lutte sur le littoral ne seraient pas possibles ; en outre, les équipes opérationnelles devraient improviser des décisions ad-hoc en ce qui concerne le traitement. Au contraire, un programme d'évaluation de la pollution du littoral mobilise des experts chargés d'inspecter les côtes en amont des opérations ; il évalue le besoin en termes de traitement, émet des recommandations et définit des objectifs qui permettent, outre la contribution des parties prenantes, une planification effective et efficace. En outre, un programme

Figure 1 Stratégie de validation du traitement du littoral



processus ainsi qu'un dénouement adéquat et raisonnable des opérations de lutte contre le déversement, en évitant toute sous-exploitation ou surexploitation des ressources ainsi que de potentiels impacts environnementaux négatifs consécutifs à un traitement excessif. Les opérations d'évaluation de la pollution du littoral fournissent dès lors de précieuses informations et un soutien aux décideurs, aux planificateurs et au personnel opérationnel afin de permettre un *traitement ou un nettoyage efficace des côtes polluées* en accélérant la restauration, *sans causer de dommages additionnels à l'environnement*.

Les intervenants mobilisés contre les déversements d'hydrocarbures participent à des opérations d'évaluation de la pollution du littoral de différents types depuis plus de quarante ans. Avant 1989, les opérations d'évaluation des côtes impliquaient historiquement des opérations d'évaluation relativement informelles, couvrant seulement les zones présentant les concentrations d'hydrocarbures les plus élevées. et implique rarement un processus systématique et cohérent de consignation ou de cartographie. Le programme d'évaluation articulé autour de la technique d'évaluation de la pollution du littoral en vue du nettoyage (SCAT) mis en place en 1989 à

Un programme d'évaluation de la pollution du littoral permet de définir une stratégie de validation, sans laquelle la lutte contre le déversement ne saurait permettre la mise en place d'un processus efficace et l'élaboration d'une conclusion appropriée et raisonnable.

l'occasion des opérations de lutte contre le déversement d'hydrocarbure consécutif au naufrage de l'*Exxon Valdez* visait à documenter la pollution de la côte et évaluer les priorités et les enjeux en termes de traitement dans une zone éloignée (Owens et Reimer, 2013). Le concept de SCAT implique une étude systématique de toutes les côtes de la zone touchée, les informations étant gérées à l'aide de la base de données d'un système d'information géographique (GIS). Ce programme étaya les décisions en matière de planification et de nettoyage qui ont servi de fondement aux opérations de lutte sur les côtes entreprises en 1989 aux niveaux stratégiques et tactiques. Les procédures opérationnelles, le processus de développement de recommandations en matière de traitement des côtes, et les outils de gestion des données impliquent depuis lors une première opération d'évaluation systématique, le concept de base ayant fait ses preuves au fil du temps dans le cadre des opérations de lutte mineures ou majeures à travers le monde.

Ci-dessous : des opérations d'évaluation de la pollution du littoral réalisées au sein de zones Humides



ITOPF

Quels sont les objectifs d'un programme d'évaluation de la pollution du littoral ?

Le programme d'évaluation de la pollution du littoral vise avant tout à :

- préciser le lieu, l'envergure et la nature de la pollution ;
- établir des recommandations en matière de traitement des côtes ;
- apporter un soutien aux opérations durant le programme de traitement ; et
- permettre la clôture de la procédure dès que les objectifs poursuivis par les opérations de traitement de la côte sont remplis.

Ces objectifs sont remplis au travers de :

- procédures standardisées ;
- de bonnes pratiques de gestion ;
- d'activités de collecte de données qui sont :
 - scientifiques ;
 - systématiques ;
 - précises ;
 - cohérentes ;
 - exhaustives ; et
 - argumentées ;
- la collecte de données, d'information et l'appui aux décideurs et au personnel opérationnel ; et
- la mobilisation des parties prenantes.

Outre les objectifs clés du programme stratégique, l'évaluation pourrait poursuivre d'autres objectifs durant les différentes phases du programme de lutte sur la côte, tel que décrit ci-dessous.

Objectifs de la phase initiale ou phase réactive

- Générer des informations immédiates sur l'ampleur du problème, au moyen d'une reconnaissance aérienne et d'une reconnaissance rapide au sol ou depuis un navire.
- Dans certains cas, les opérations d'évaluation pourront être mises en œuvre avant que l'hydrocarbure n'atteigne les côtes afin de définir les conditions de référence.
- Définir la (les) zone(s) côtière(s) touchée(s), le degré ainsi que la nature de la pollution.
- Établir immédiatement des priorités en termes de nettoyage et mettre en œuvre des opérations au(x) bon(s) endroit(s) et rapidement. La hiérarchisation est généralement associée à la distribution des concentrations d'hydrocarbures les plus lourds et au potentiel de remobilisation de l'hydrocarbure, ainsi qu'à la vulnérabilité de la côte touchée.
- Le traitement pourrait viser principalement au ramassage en vrac des hydrocarbures afin de réduire les autres impacts et renforcer la dégradation naturelle.

Ci-dessous, à gauche : les opérations de reconnaissance aérienne permettent l'évaluation initiale de l'envergure de la zone touchée.

Ci-dessous à droite : une couverture vidéo assortie d'un commentaire descriptif constitue une méthode rapide de documentation des caractéristiques d'une pollution des côtes.



Les objectifs de la phase de planification

- Documenter de manière systématique les caractéristiques de la pollution au moyen d'opérations rigoureuses d'évaluation sur le terrain afin d'établir un plan de lutte sur le littoral (voir l'encadré 8 à la page 25), en prenant en compte l'évolution éventuelle des caractéristiques de la pollution.
- Émettre des recommandations sur les objectifs globaux en matière de traitement.
- Évaluer et recommander des techniques et stratégies de traitement et des critères de validation et des méthodes d'analyse.
- Déterminer les contraintes du traitement.

Les objectifs de la phase opérationnelle

- Fournir une série de consignes précises (ou « ordres de mission ») aux équipes opérationnelles en vue du traitement de segments spécifiques de la côte.
- Inclure les contraintes environnementales et les autres contraintes ainsi que les bonnes pratiques de gestion afin de prévenir tout impact ou dommage supplémentaire qui pourrait résulter du traitement.
- Suivre et documenter l'efficacité du traitement et de la restauration naturelle.
- Suivre le statut et les progrès des opérations de traitement.

Objectifs de la phase de validation

- Comparer les critères de validation du traitement avec les caractéristiques de la pollution durant les inspections afin que les parties puissent confirmer que le traitement a été suffisant, segment par segment.
- Prouver que les critères de validation ont été remplis pour les segments traités, et mettre en place la procédure d'approbation ou de clôture (voir l'encadré 2 à la page 15 pour une présentation des segments et de la segmentation).
- Identifier les éventuelles zones qui feront l'objet d'un suivi à long-terme, au sein desquels les critères de validation n'impliquent pas l'élimination de la totalité de l'hydrocarbure, afin de s'assurer que le processus de vieillissement naturel ou d'auto-nettoyage se déroule conformément aux prévisions.

*Ci-dessous :
Les opérations
d'évaluation des
littoraux permettent
de localiser et définir
la nature de
l'hydrocarbure :
(à gauche) une
mangrove polluée ;
(à droite) un marais
pollué.*



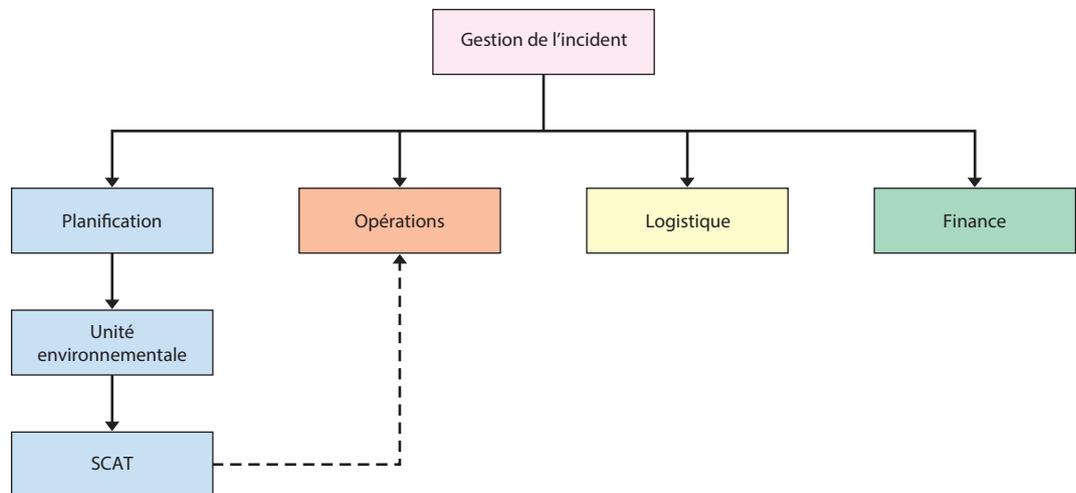
Comment un programme d'évaluation des côtes s'intègre-t-il à un programme de lutte mis en place sur des littoraux ?

Un programme d'évaluation de la pollution du littoral est intégré à l'organisation de gestion de la lutte, verticalement, dans le cadre des fonctions de planification et des fonctions écologiques, et horizontalement, dans le cadre d'une collaboration étroite et de communications réciproques avec les unités opérationnelles sur la côte (IPIECA-IOGP, 2016). Voir la figure 2, ci-dessous.

Un programme d'évaluation du littoral soigneusement planifié documente de manière systématique et détaillée sa nature, ainsi que les données relatives à la pollution et les données logistiques pour la (les) zone(s) touchée(s), segment par segment. Le programme d'évaluation des côtes vise avant tout à :

- fournir des données sur la pollution et des recommandations en matière de traitement aux décideurs et au personnel opérationnel, de manière efficace et en temps utile, afin d'appuyer les diverses phases des opérations de lutte ;
- permettre une prise de décision et une approbation rapide du plan de lutte et des opérations de nettoyage direct des côtes durant toutes les phases de la lutte ;
- compiler une documentation systématique, cohérente et argumentée durant toutes les phases de la lutte ;
- travailler en étroite collaboration avec le personnel opérationnel évoluant sur la côte afin de garantir et fournir un appui opérationnel à l'application du traitement recommandé et des critères de validation ;
- fournir des données précises et informatives aux parties prenantes ; et
- collaborer avec l'équipe de gestion du déversement afin de fournir des informations non techniques au public.

Figure 2 Le positionnement du programme SCAT dans le cadre de la structure traditionnelle d'une organisation de lutte



Quels sont les participants à un programme d'évaluation de la pollution du littoral ?

Un programme d'évaluation des côtes soigneusement établi mobilise un personnel opérationnel d'évaluation expérimenté, de décideurs clés, un personnel de planification et un personnel opérationnel, en s'assurant qu'un flux complet d'informations et de données circule entre les parties prenant part aux opérations de lutte. En outre, le programme assure que les parties prenantes concernées demeurent mobilisées, garantit leur participation continue au processus décisionnel et les tient informer.

La gestion des données constitue une composante clé du programme d'évaluation des côtes ; elle garantit l'intégrité des données, permet leur stockage et leur sauvegarde, propose des méthodes de traitement et d'analyse des données brutes en matière de pollution du littoral et les présente dans un format qui pourra être facilement partagé avec les décideurs et les parties prenantes.

Les équipes d'évaluation de la pollution du littoral effectuent des missions d'évaluation avant la lutte des équipes opérationnelles et identifient souvent les risques et les contraintes avant quiconque ; les équipes d'évaluation de la pollution du littoral doivent ainsi posséder une culture solide en matière de sécurité et partager leur expertise avec le reste du personnel de lutte.

L'intégration à l'organisation de gestion de la lutte

Le programme d'évaluation de la pollution du littoral doit être intégré à la fonction chargée de prendre les décisions et d'émettre des recommandations en matière environnementale. Par exemple, dans le cadre du Système de gestion des accidents (IMS), le SCAT est intégré à l'Unité environnementale, sous l'autorité de la section de planification. Ainsi, les critères de validation de l'opération sont convenus au sein d'une même équipe, alors que les données de terrain sont partagées avec les décideurs et le personnel de planification de manière à assurer une planification efficace de la lutte. La Section de planification est également chargée de s'assurer que les autres sections compétentes sont tenues informées via l'Unité situation.

Une des principales fonctions de l'équipe d'évaluation de la pollution du littoral constitue à aider les opérations de lutte en communiquant directement avec le personnel opérationnel ; cela permet de garantir que chaque équipe comprend le rôle et la mission de l'autre et formule des commentaires sur les décisions prises par l'autre. Par exemple, l'équipe d'évaluation opérationnelle peut débattre avec les superviseurs de terrain de la façon de déterminer si les critères de validation ont été remplis ; en outre, le personnel opérationnel peut apporter son expertise sur les avantages et les limites pratiques des méthodes de traitement disponibles.

Participation de l'équipe d'évaluation de la pollution du littoral

Une équipe d'évaluation des côtes se voulant fonctionnelle se compose des représentants de la partie responsable et des agences compétentes dans la zone touchée. Cela permet de maintenir un niveau cohérent de communication entre les divers organismes réglementaires et les parties prenantes et de prévenir toute interprétation divergente du lieu et du niveau de pollution. Les agences et les gestionnaires des terres peuvent évoluer au niveau local, régional ou national, ou simultanément à ces trois niveaux. Le plan national ou local de lutte contre le déversement d'hydrocarbure peut préciser la composition de l'équipe d'évaluation des côtes. Cependant, la composition de l'équipe opérationnelle d'évaluation des côtes doit permettre une gestion simple ; ainsi, mobiliser une équipe opérationnelle nombreuse peut s'avérer peu pratique et peu efficace, c'est pourquoi il peut être nécessaire de réserver les activités de terrain aux représentants clés. A une équipe composée de plus de cinq personnes peut s'avérer inefficace et difficile à gérer d'un point de vue logistique et sécuritaire. Comme précisé à la page 11, les équipes opérationnelles d'évaluation doivent avoir suivi une formation appropriée en matière de sécurité et témoigner d'une culture solide dans ce domaine car elles évoluent généralement à distance, à l'écart des unités et des infrastructures opérationnelles plus

importantes. Elles doivent posséder les compétences et l'autorité nécessaires pour se retirer dans les cas où les conditions ou le transport sont jugés dangereux ; elles doivent en outre partager leurs rapports et leurs observations en matière de sécurité avec l'agent de sûreté au sein de l'organisation de lutte.

Le chef d'équipe d'évaluation du littoral doit témoigner de compétences de base en matière de leadership. Les chefs, dotés de l'esprit d'équipe, sont à l'écoute des propositions de chaque membre de l'équipe, ce qui leur permet de parvenir à des consensus au sein de l'équipe sur les caractéristiques de la pollution et les recommandations en matière de traitement.

Les membres de l'équipe opérationnelle qui n'ont pas d'expérience en matière d'évaluation des côtes doivent suivre une formation théorique et/ou pratique appropriée ; en outre, tous les membres de l'équipe participent à des formations de mise à niveau sur les déversements afin de garantir la mise en place de relations cohérentes entre les membres de l'équipe et entre les différentes équipes. Il convient de renforcer la cohérence des données en réduisant les roulements du personnel d'évaluation et en s'assurant que le même groupe d'opérateurs dûment formés sera mobilisé depuis les premières opérations d'évaluation jusqu'à la validation. La formation doit inclure les enjeux en termes de sécurité et les risques potentiels, les méthodes d'évaluation du littoral et les processus mis en œuvre sur le littoral qui sont spécifiques à la zone géographique objet des opérations d'évaluation.

La structure d'un programme d'évaluation de la pollution du littoral peut inclure les éléments suivants :

- **Gestion/coordination du programme d'évaluation de la pollution du littoral** : chargé de la conception et de l'encadrement du programme, de la définition des objectifs du programme et de la coordination avec l'unité environnementale et les autres responsables et décideurs au sein de l'organisation de lutte.
- **Les équipes opérationnelles d'évaluation** : chargées de réaliser les opérations de reconnaissance aérienne, au sol ou depuis un navire, de collecter sur le terrain des données sur la pollution (et les autres données), d'établir des rapports et émettre des recommandations sur le traitement, d'inspecter les endroits au sein desquels un traitement est requis afin de s'assurer que les critères de validation sont remplis. En fonction des besoins spécifiques au site, les autres données collectées pourront inclure les ressources culturelles, les ressources animales sensibles, les ressources environnementales ou les contraintes en matière opérationnelle, sécuritaire ou logistique.
- **Gestion des données** : chargé de la collecte et la compilation des données, de la présentation de cartes et tableaux synthétiques de données et de rapports, de la coordination avec l'équipe de gestion des données sur la lutte afin de tenir une documentation sur les opérations d'évaluation de la côte traitant des caractéristiques de l'hydrocarbure, du traitement ou de l'atténuation naturelle.
- **Soutien GIS** : chargé de l'élaboration de cartes opérationnelles à l'attention des équipes d'évaluation et des cartes publiées dans les rapports d'évaluation.
- **Soutien logistique** : chargé de la gestion du volet logistique et communication avec les équipes opérationnelles, un rôle important lorsqu'il convient de couvrir une zone vaste/distante, de l'organisation de formations et des activités d'appui en matière de sécurité (voir encadré 1 sur la *Sécurité et les plans de sécurité*, au verso).
- **Coordination des opérations SCAT** : chargé des communications directes entre le programme d'évaluation des côtes et le personnel opérationnel, un rôle important lorsque les équipes opérationnelles d'évaluation ne sont pas en mesure de proposer cette fonction notamment lorsque, à l'occasion d'opérations de lutte, elles sont dispersées au sein d'une zone vaste, loin des zones opérationnelles.

Ci-dessous : une équipe d'évaluation de la pollution du littoral, incluant des représentants des agences locales



Encadré 1 *Sécurité et plans de sécurité*

Comme pour les autres activités de lutte contre un déversement d'hydrocarbure, ici aussi la sécurité constitue la priorité première. Les équipes opérationnelles d'évaluation sont exposées à des risques menaçant leur intégrité physique ; dès lors, les plans de sécurité doivent être établis assez tôt pour permettre aux équipes de reconnaître, prévenir et réduire de tels risques.

Les risques peuvent inclure, sans s'y limiter :

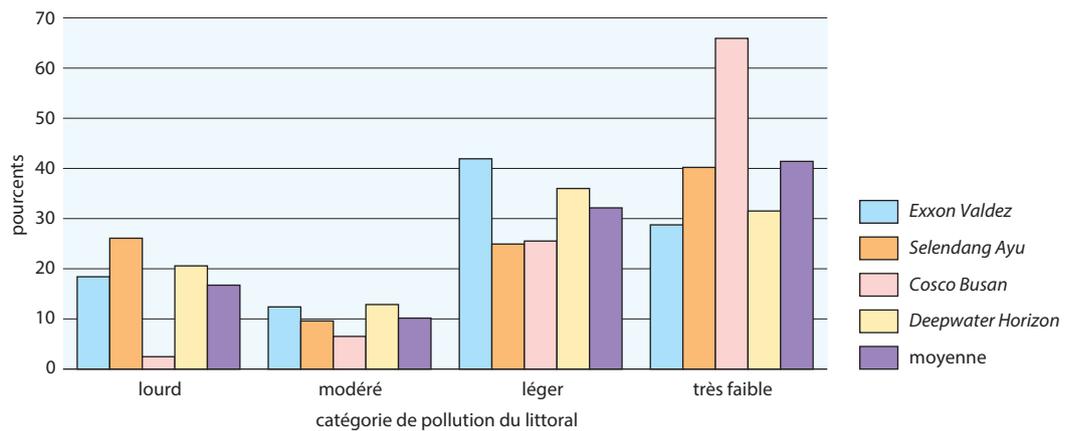
- le temps :
 - froid/gel ;
 - chaleur/soleil ;
 - pluie/tempêtes ;
 - vents forts ;
 - brouillard ;
- conditions en mer ;
- opérations aériennes ;
- opérations sur bateau ;
- travailler sur/à proximité de l'eau ;
- conditions de circulation/routières ;
- travail avec des équipement lourds (e.g. foreuses, pelleteuses) ;
- glissades, trébuchements et chutes ;
- surfaces irrégulières et glissantes ;
- faune ;
- obscurité ;
- fatigue ;
- déshydratation ;
- blessure musculaire ;
- déchets (par ex. objets tranchants, verre, agents chimiques); et
- membres du public/sécurité.

Le chef de l'équipe opérationnel doit procéder à des briefings quotidiens avant de lancer les opérations d'évaluation afin de s'assurer que tous les membres sont informés des risques potentiels et qu'ils disposent du savoir et des moyens requis pour les réduire. Comme l'équipe d'évaluation de la pollution du littoral est souvent la première sur place, elle doit aussi observer et identifier les nouveaux dangers quotidiennement mais aussi lors des changements de situation. Le briefing de sécurité constitue également un moyen pour s'assurer que tous les membres comprennent la mission et les objectifs de la journée.

Quelles sont les exigences principales en matière d'information des décideurs ?

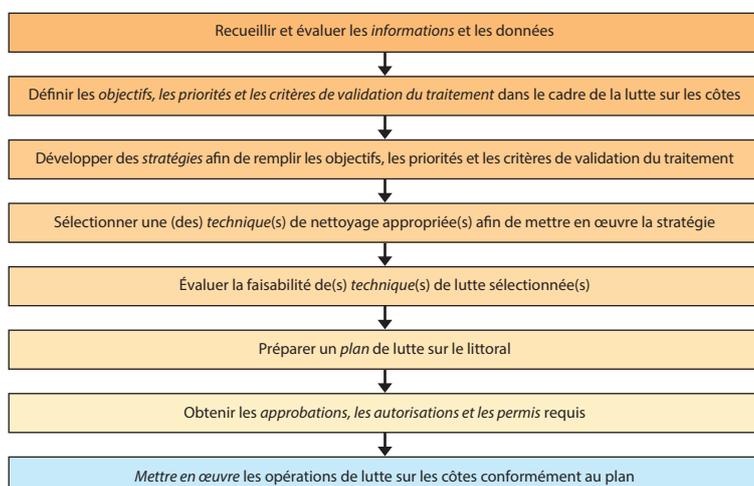
À la suite d'un déversement d'hydrocarbure, l'efficacité de la lutte dépend avant tout de la mise en place d'un processus décisionnel informé et rapide. Un programme d'évaluation du littoral, soigneusement planifié, fournit des informations essentielles permettant aux décideurs de planifier et d'exécuter des opérations efficaces de nettoyage du littoral. Pour définir les objectifs et priorités durant les premières phases de la lutte, les responsables doivent pouvoir s'appuyer sur une présentation exhaustive et non technique de la situation, le plus rapidement possible. Lors des étapes de planification et opérationnelles, les responsables demandent à l'équipe d'évaluation du littoral de formuler des recommandations argumentées sur les objectifs, les priorités et les critères de validation, y compris les techniques de nettoyage appropriées et les contraintes opérationnelles. En outre, ils s'appuient sur des rapports sur les changements dans le temps de la pollution de la côte et de la progression du traitement. Il est important d'établir et de convenir d'indicateurs communs en termes d'étendue surveillée, d'impacts de l'hydrocarbure (par exemple, les catégories de pollution – voir la figure 3) et de traitement afin de partager des informations cohérentes avec les responsables et le public. Enfin, les responsables s'appuieront durant la phase de validation, sur les opinions et les recommandations d'équipes opérationnelles expérimentées afin de déterminer et de documenter les segments au sein desquels les critères de validation ont été remplis, afin que les ressources de lutte puissent être démobilisées, segment par segment.

Figure 3 Pourcentage des côtes polluées par catégorie pour les déversements d'hydrocarbure sélectionnés



Sur la figure 3, les classifications affichées pour Deepwater Horizon correspondent aux catégories présentées dans l'encadré 4 (pages 18 – 19) pour un « petit estran » ; toutes les autres suivent la définition de « estran étendu » de la largeur de la bande polluée.

Figure 4 Flux d'informations et processus décisionnel



Un programme efficace d'évaluation du littoral fournit des informations systématiques et complètes, assurant ainsi que tout le littoral dans la zone touchée fera l'objet d'opération d'évaluation. Les équipes d'évaluation des côtes formées de manière appropriée fournissent des données cohérentes, entre les différentes opérations d'évaluation et entre les différents observateurs / les différentes équipes. Il est possible d'optimiser la qualité en préservant la présence de l'équipe d'enquêteurs sur la côte tout au long de la lutte. Les communications seront réalisées dans des formats permettant la génération de données quantitatives, sans qu'il soit nécessaire de procéder à des descriptions qualitatives ou de formuler des opinions.

Encadré 2 *Segments et segmentation*

Au début de (ou idéalement avant) la lutte, la côte ou la (les) berge(s) de rivière seront divisées en unité de travail appelées segments. Ces segments sont délimités afin de fournir des zones gérables aux fins d'évaluation, nettoyage et de réévaluation. Chaque segment devra présenter une cohérence de la côte en termes de caractéristiques physiques et de type de sédiment. Les limites des segments sont établies en fonction des :

- caractéristiques géologiques dominantes, notamment les embouchures des ruisseaux ou des fleuves ;
- changements dans le découpage de la côte ou dans les substrats ;
- différences dans les caractéristiques de la pollution ;
- considération opérationnelles, telles que les caractéristiques du terrain en second plan, l'accès ou les zones logistiques ; et
- la compétence juridictionnelle ou la propriété/gérance des terres.

Un numéro unique d'identification est assigné à chaque segment, qui pourra ainsi être utilisé dans toutes les documentations et cartes relatives aux études des côtes et aux opérations. La segmentation découpe la côte en portions gérables pour les équipes d'étude et opérationnelles, et simplifie l'identification et la localisation des différentes zones de la côte (voir la carte ci-dessous). Les segments où un traitement est planifié peuvent correspondre à des zones ou des divisions opérationnelles.

Des polygones peuvent être utilisés pour le découpage des côtes non-linéaires, telles que des marais, ou dans le cas de côtes ou de terrains très irréguliers (voir l'exemple de carte de statuts de marais pollués en page 28).

Une cartographie et une segmentation en amont du SCAT permet d'éviter une segmentation à posteriori ou l'utilisation d'une segmentation incohérente par différents groupes lors de la lutte; elles peuvent également être réalisées sans la pression et les contraintes de temps générées par un incident réel. Lorsqu'une segmentation a été pré-établie, les informations sur la logistique telles que l'accessibilité et les conditions opérationnelles de l'arrière-pays, et la vulnérabilité de la côte seront immédiatement disponibles pour les équipes côtières (voir carte ci-après). L'utilisation de vidéos aériennes s'est révélée être une source d'informations précieuses pour la segmentation de la côte, ainsi que les graphiques, cartes et images satellitaires.

En cas de déversement, des sous-segments peuvent être créés pour tenir compte des variations dans la sévérité de la pollution et du type d'hydrocarbure. Les cartes de segmentation et de vulnérabilité établies par avance doivent être réévaluées périodiquement et révisées si nécessaire, afin de tenir compte des évolutions naturelles des côtes et de l'activité humaine, mais aussi pour vérifier les points d'accès et les zones logistiques.



La carte est publiée avec l'aimable autorisation de l'ACEPA, le ministère angolais du Pétrole et le ministère angolais de l'Environnement.

Exemple de segmentation de littoral en amont du SCAT, définissant le type de zone côtière (lieu de dépôt de l'hydrocarbure) et le caractère côtier (l'arrière-plage sur laquelle les opérations seront mises en œuvre et organisées). Dans cet exemple, l'Indice de sensibilité environnementale (ESI) du type de côte pour les segments DAN-022 à DAN-025 est le même (plage de sable), alors que la nature de l'arrière plage évolue de manière significative ; dunes (22) ; réalisées par l'homme(23) ; falaises/talus (24) ; et dunes (25).

La distribution de l'hydrocarbure échoué

Les opérations d'évaluation des côtes doivent être organisées pour évaluer et documenter les facteurs les plus importants liés à la pollution afin de faciliter le processus décisionnel dans le cadre du programme de lutte. Les opérations d'évaluation doivent permettre d'identifier et de partager les informations suivantes, segment par segment :

- **Localisation** : cartes, coordonnées GPS et descriptions des sites dans lesquels la pollution a été observée, en indiquant quels sont les segments pollués et dans quel estran l'hydrocarbure s'est échoué. Les segments dans lesquels aucun hydrocarbure n'a été observé (no observed oil ou NOO) doivent être documentés.
- **Type de côte** : descriptions des types primaires et secondaires de côtes objets des opérations d'évaluation, idéalement au moyen d'outils de description et de codage standards comme l'Indice de sensibilité environnementale (ESI) (voire IPIECA/IMO/IOGP, 2012) ou le système de classification des côtes d'Environnement Canada (voir l'encadré 3 à la page 17).
- **Le caractère côtier** : description de l'arrière-plage, en précisant tout particulièrement les conditions d'accès et de rassemblement dans le cadre des opérations.
- **Concentration d'hydrocarbure** : descriptions quantitatives de la distribution (longueur, largeur et taux de couverture) et épaisseur de l'hydrocarbure en surface, ainsi que le lieu, l'épaisseur la profondeur et le taux de couverture de l'hydrocarbure de sous-sol, au moyen de mesures et de définitions normalisées et cohérentes (voir l'encadré 4 aux pages 18 – 19).
- **Caractéristiques de l'hydrocarbure** : descriptions standards de la nature de l'hydrocarbure et du niveau de vieillissement, par exemple, hydrocarbure frais, émulsion, résidu d'hydrocarbure ou irisation (voir l'encadré 4 aux pages 18 – 19).
- **Comportement potentiel de l'hydrocarbure** : Une information sur la persistance probable (des jours à des semaines, des semaines à des mois, des mois à des années) de l'hydrocarbure et sur son potentiel de remobilisation, définie selon sur les caractéristiques de l'hydrocarbure, de l'évolution de la pollution au fil du temps (vieillessement), de l'eau et des conditions météorologiques.

Couche de résidu d'hydrocarbure en sous-sol (enterré) dans un puit creusé à la main sur une plage de sable.



Cet ensemble d'informations est, en premier lieu, utilisée pour définir les priorités immédiates en termes de nettoyage qui se concentre en principe sur les segments présentant les concentrations d'hydrocarbure les plus importantes et les hydrocarbures au potentiel de remobilisation le plus important.

Durant l'étape de planification suivante, les données sur la pollution de la côte viennent compléter les informations sur la vulnérabilité et les ressources menacées afin de définir les objectifs et priorités à long terme. Les données sur la pollution incluent les informations suivantes spécifiques au segment :

- les méthodes d'évaluation de la pollution du littoral et les cartes associées, les croquis, les diagrammes et les photos ;
- les enjeux en matière de sécurité et de logistique, comme les accès et les obstacles ;
- les ressources menacées ; et
- les données sur le type de plage (voir Quelles types de données sont générées ? à la page 27).

De telles données peuvent être compilées pour élaborer une présentation à dimension locale ou régionale de la pollution des côtes et la progression des opérations de lutte, sous la forme de tableaux et de cartes de la pollution, de tableaux de situation et de graphiques chronologiques (voir page 27 – 28).

L'annexe 1 aux pages 32 – 33 propose un format type de consignation des activités d'évaluation de pollution du littoral. Les formats standards peuvent être modifiés afin de refléter le caractère spécifique de la côte (par ex. un marais) ou les circonstances de la pollution pour une région ou un déversement particulier.



À l'extrême gauche : sur une plage de galets / de cailloux, un hydrocarbure s'est principalement déposé dans la zone intertidale
 À gauche, ci-contre : une berge de rivière polluée durant une période de baisse du niveau des eaux.

Encadré 3 Classification environnementale des côtes effectuée par le Canada (pour les zones tempérées et arctiques)

<p>Types de côtes maritimes</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Soubassement—falaise/vertical ● Soubassement—en pente/incliné ● Soubassement ou plage rocheuse—plateforme ● Glacier/barrière de glace ● Solide, artificiel ● Perméable, artificiel ● Plage de sable ● Plage de sédiment mixte ● Plage de galets/de cailloux ● Plages de rochers ● Vasière ● Zone sableuse ● Zone sédimentaire mixte ● Zones de rochers/galets/cailloux ● Marais ● Mangrove ● Cote de tourbière ● Falaise escarpée – riche en glace ● Falaise escarpée – pauvre en glace ● Littoral de toundra bas et inondé 	<p>Caractéristiques côtières des mers et des lacs</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Falaise/collines ● Incliné ● Plane/plaine ● Plage ● Delta ● Dune ● Lagon ● Embouchure/canal de rivière ● Marais ● Artificiel 	<p>Caractéristiques de vallées des rivières et des ruisseaux</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Falaise ● incliné ● Canyon ● Linéaire ● Confiné ou surélevé ● Méandre ● Vallée fluviale ● Anastomose ● Bras mort ● Artificiel
<p>Les côtes hivernales—mers et eau douce <i>(en principe temporaires)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Manteau de glace ● Neige ● Précipitations glacées ● Pulvérisation/projection glacée ● Floes échoués 	<p>Rives d'eaux douces (lac, rivière, ruisseau)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Substrat rocheux en falaise/pente ● Plateforme/plateau rocheux ● Artificiel solide ● Artificiel perméable ● Falaise de sédiments ● Bancs de boue/d'argile ● Plage ou banc de sable ● Plage ou banc de sédiments mixtes ● Plage ou banc de galets/de cailloux ● Plages ou bancs de rochers ● Plage ou banc de tourbières/organique ● Vasière ● Zone sableuse ● Zones sédimentaires mixtes ● Banc de végétaux ● Marécage ● Marais ● Tourbières/marécage ● Terrain boisé 	<p>Caractéristiques des rivières et des cours d'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bancs ● Barres de méandres ● Cascade ● Rapides ● Radiers ● Bassin ● Gide ● Embâcles de bois ● Berges érodées

Encadré 4 Termes et définitions standards

Un des éléments clés des opérations d'évaluation des côtes consiste à utiliser les termes et définitions standards, sans lesquels toute comparaison entre les formulaires et rapports d'évaluation serait difficile. En utilisant les mêmes mots ou les mêmes phrases pour décrire une pollution, chaque personne impliquée dans les opérations de lutte comprend leur sens, ce qui évite tout risque d'interprétation erronée. Exemples de termes généralement acceptés pour décrire les caractéristiques des pollutions de surface et leurs définitions :

La largeur de la bande d'hydrocarbure peut être classifiée en fonction l'étendue de l'estran ou de l'environnement côtier :

	Petite estran (< 2 m), berges des lacs ou rivières	Grand estran (> 2 m)
Largeur	> 2 m	> 6 m
Moyen	1-2 m	3-6 m
Étroit	0,3-1 m	0,5-3 m
Très étroit	< 0,3 m	< 0,5 m

Caractéristiques de l'hydrocarbure

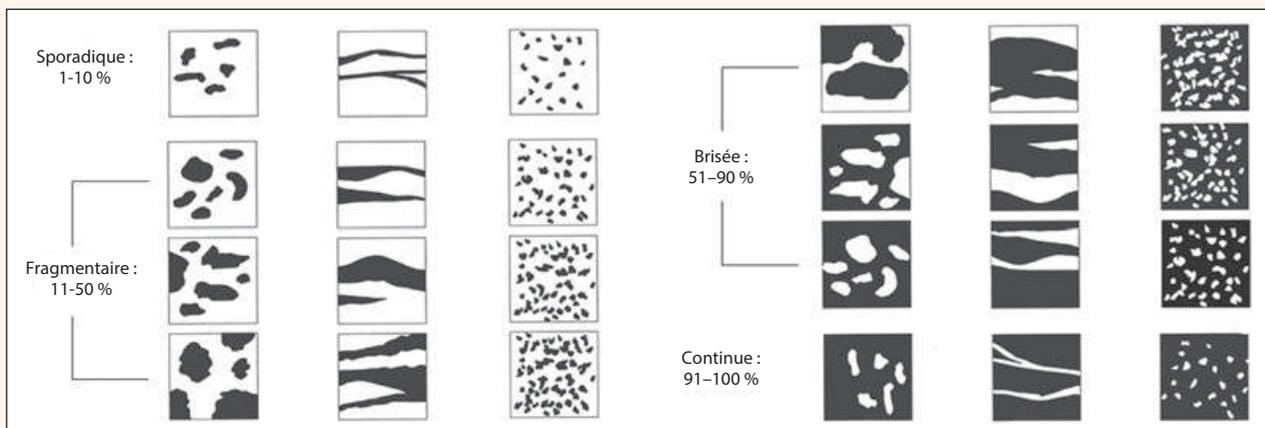
- Frais : un hydrocarbure non vieilli, à faible viscosité
- Mousse : hydrocarbure émulsifié (un mélange d'hydrocarbure et d'eau)
- Boulettes : boulettes d'hydrocarbures sur une plage ou accrochées à un substrat (< 10 cm de diamètre)
- Galettes de goudron: galettes d'hydrocarbure déposées sur une plage ou accrochées à un substrat (> 10 cm de diamètre)
- Goudron : couche vieillie de goudron pâteux, presque solide
- Résidu d'hydrocarbure en surface : sédiments d'hydrocarbures en surface non-cohésifs
- Couches d'asphaltes: mélange cohésif d'hydrocarbure et de sédiments
- Aucun hydrocarbure observé (NOO)

La distribution de l'hydrocarbure peut être classée dans les catégories suivantes (voir figure 5) :

- Trace : < 1%
- Sporadique : 1-10 %
- Fragmentaire : 11-50 %
- Brisée : 51-90 %
- Continue : 91-100 %

Remarque : Les boulettes de goudron peuvent être dénombrées pour une zone fixée, en notant de leurs dimensions moyennes et maximales.

Figure 5 Exemples de taux de distribution



L'épaisseur de l'hydrocarbure est classé dans les catégories suivantes :

- Hydrocarbure épais : > 1 cm
- Couverture : > 0,1 cm à ≤ 1 cm
- Couche : > 0,01 cm à ≤ 0,1cm (peut être grattée avec un ongle)
- Tâche : ≤ 0,01cm (ne peut être grattée facilement avec un oncle)
- Film : Film ou reflet transparent ou translucide

Les termes comme « léger », « modéré » et « lourd » ont des significations spécifiques ce qui permet de s'assurer que leur utilisation est cohérente et comparable. Les matrices (voir les exemples aux figures 6 et 7 ci-dessous) peuvent être utilisées pour classer la pollution et proposer une description simple et standardisée.

Figure 6 Matrice de surface initiale couverte par l'hydrocarbure

		Largeur de la zone polluée			
		Large (> 2 m)	Moyenne (1-2 m)	Étroite (0,5-1 m)	Très étroite (< 0,5 m)
Distribution de l'hydrocarbure	Continue 91 – 100 %	importante	importante	modéré	faible
	Brisé 51 – 90 %	importante	importante	modéré	faible
	Fragmentaire 11 – 50 %	modéré	modéré	faible	très faible
	Sporadique 1 – 10 %	faible	faible	très faible	très faible
	Trace < 1%	très faible	très faible	très faible	très faible

La largeur de la zone polluée (dans ce cas pour un site présentant petit estran) et la distribution de l'hydrocarbure sont associées dans le cadre de cette « matrice initiale de la couverture d'hydrocarbure en surface ».

Figure 7 Matrice finale de classification de l'hydrocarbure en surface

		Surface couverte par l'hydrocarbure			
		Importante	Modéré	Faible	Très faible
Épaisseur moyenne	Hydrocarbure épais > 1cm	importante	importante	modéré	faible
	Couverture 0,1-1,0 cm	importante	importante	faible	faible
	Couche 0,01-0,1 cm	modéré	modéré	faible	très faible
	Tâche/Film < 0,01 cm	faible	faible	très faible	très faible

La classification initiale de l'hydrocarbure en surface sur le fondement de la « matrice initiale de la couverture d'hydrocarbure en surface » (Figure 6) est associée à l'épaisseur moyenne de l'hydrocarbure dans le cadre de cette « matrice de classification de l'hydrocarbure en surface ».

Les options et contraintes de traitement

Critères de validation du traitement

Les critères de validation du traitement permettent de déterminer des objectifs mesurables dans le cadre d'une lutte sur le littoral, garantissant ainsi que chaque personne impliquée, depuis la direction des opérations jusqu'aux opérateurs sur le terrain, comprend quels sont les segments qui doivent être nettoyés et quel niveau de pollution résiduel est considéré acceptable sur ces segments. Lorsque ces critères de validation mutuellement convenus sont remplis, ceci signifie que plus aucun traitement n'est nécessaire (no further treatment ou NFT) et qu'un segment peut être retiré des opérations de lutte ; les équipes de nettoyage sont alors redéployées en fonction des besoins. La participation des agences environnementales appropriées dans la définition des critères de validation permet de s'assurer que leurs exigences et leurs inquiétudes sont pleinement prises en compte dans le cadre du processus décisionnel.

Lorsqu'elle formule des recommandations en termes de critères de validation à l'attention de l'équipe de gestion du déversement, l'équipe du programme d'évaluation des côtes doit s'assurer qu'elle appréhende le niveau de pollution, la vitesse de vieillissement, le potentiel de remobilisation et le potentiel de restauration naturelle, le type de côte et sa sensibilité et l'exposition potentielle de la faune et du public. Généralement, les critères de validation sont définis pour chaque type de côte affectée et chaque type d'utilisation. Il est essentiel de comprendre les atouts et les limites des techniques de traitement disponibles ; en particulier, l'équipe doit avoir conscience des impacts négatifs que chaque méthode de traitement pourrait avoir sur les habitats côtiers. Il convient de noter qu'il est rarement possible, sur les plans techniques ou économiques, de nettoyer pour rétablir les conditions avant déversement ou pour satisfaire au standard NOO et que certaines activités de traitement pourraient générer un bénéfice écologique et économique négatif notamment sur les côtes sensibles (voir l'encadré 5 à la page 21 pour consulter les principes NEBA et ALARP). Des groupes techniques de travail peuvent être établis pour déterminer les critères de validation NFT et les méthodes de traitement pour les différents types de côte (voir l'encadré 7 à la page 24).

Idéalement, les critères de validation doivent être quantitatifs, afin d'éviter toute ambiguïté dans le cadre du processus, par exemple : « *pollution de surface inférieure à 10 % de la distribution et dont l'épaisseur est inférieure à 1 cm* ». Cependant, les critères de validation peuvent aussi être qualitatifs, à condition qu'ils soient objectifs et mesurables, par exemple « *aucun hydrocarbure ne produisant de reflet irisé sur les perturbations* ». Les mesures analytiques peuvent également être utilisées pour définir les critères de validation ; cependant, il sera sans aucun doute difficile de convenir d'autre chose que d'une concentration arbitraire, si bien qu'une reconnaissance quantitative ou qualitative sur site est généralement préférable. Dans les situations dans lesquelles le type de côte est particulièrement vulnérable aux impacts physiques générés par le traitement, un critère de validation opérationnel est préférable, par exemple : « *le statut « plus aucun traitement » (NFT) est attribué à ce segment lorsque le traitement recommandé a été appliqué* (voir l'encadré 6 à la page 22 pour plus d'exemples sur les critères de validation du traitement des côtes).

Les recommandations en matière de traitement du littoral (STR)

Lorsqu'un segment ne remplit pas les critères de validation, l'équipe de gestion du déversement se doit de connaître le lieu de la pollution, savoir pourquoi le segment ne remplit pas les critères de validation et comment le personnel opérationnel peut nettoyer le segment. En s'appuyant sur des données fiables, une bonne compréhension de la pollution de la côte, des caractéristiques et des critères de validation requis et sur une connaissance approfondie des techniques de traitement disponibles, l'équipe du programme d'évaluation du littoral peut formuler des recommandations en matière de traitement de chaque segment au moyen d'un formulaire STR (voire NWACP 2014 pour un exemple de formulaire STR). afin de s'assurer de leur efficacité. Dans certains cas, lorsqu'une côte est particulièrement sensible aux impacts physiques ou aux

autres impacts générés par le traitement, les recommandations « pas de traitement » et/ou « suivi de la restauration » peuvent s'avérer appropriées. La STR doit identifier et définir la (les) zone(s) polluée(s) à l'intérieur du segment (voir la page 27) et souligner la (les) technique(s) de traitement les plus appropriées eu égard au type de pollution et de côte. La STR doit en outre contenir des consignes claires sur les enjeux et contraintes sécuritaires, logistiques et écologiques. Les formulaires STR sont revus et approuvés par l'équipe de gestion du déversement, avant d'être intégrés au programme de lutte sur le littoral, principalement sous la forme « d'ordres de mission » à l'attention des équipes opérationnelles évoluant sur la côte.

Les STR doivent inclure :

- le(s) numéro(s), les coordonnées, les cartes et les photos des segments ;
- une description du (des) site(s) pollué(s), y compris les caractéristiques de la côte ;
- les types et degrés de pollution ;
- les techniques de traitement recommandées ;
- une liste des différentes phases/étapes de traitement ;
- les critères de validation du(des) segment(s) ;
- les restrictions et enjeux environnementaux, culturels et sociaux ; et
- les enjeux sécuritaires et logistiques.

Les contraintes inhérentes au traitement – les bonnes pratiques de gestion

Afin de limiter les impacts négatifs générés par les méthodes de traitement recommandés, la STR doit s'appuyer sur les bonnes pratiques de gestion. Elles doivent décrire les mesures requises pour éviter ou réduire toute nuisance supplémentaire, comme la réduction de l'impact physique affectant les côtes sensibles, la prévention des perturbations de la végétation et la réduction des perturbations de la faune, des ressources culturelles et historiques.

Encadré 5 *Les principes du NEBA (analyse des bénéfices écologiques et économiques en fonction des options de lutte envisagées) et de l'ALARP (« aussi faible que raisonnablement possible » ou « as low as reasonably practical »)*

Le traitement du littoral vise avant tout à accélérer les processus de restauration naturelle, comme l'altération et la biodégradation. De manière générale, à un point déterminé du processus de traitement, ce dernier ne génère plus de bénéfices ou ne peut que générer des effets indésirables (comme la perturbation des racines dans les marécages), si bien que les activités de traitement doivent être modifiées ou doivent cesser. L'ALARP et le NEBA constituent deux principes clés de détermination des critères de validation et des méthodes de traitement.

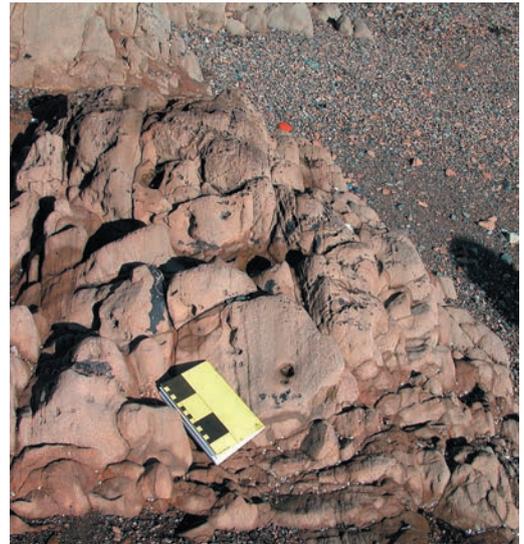
Dans le cadre de l'ALARP, un risque doit être « aussi faible que raisonnablement possible », ce qui signifie que le niveau de risque est supérieur à zéro, demeure tolérable et ne peut être réduit sans générer des *coûts et des efforts disproportionnés*.

Le NEBA implique l'évaluation du « bénéfice écologique et économique » des méthodes de traitement potentielles, y compris la restauration naturelle, en comparant les impacts négatifs et positifs de chaque méthode de traitement et en déterminant quand une activité spécifique de traitement doit être interrompue. Les différentes méthodes de traitement ont des impacts différents sur l'environnement : généralement plus la technique est agressive, plus l'impact physique sur la côte sera important. Le NEBA est dès lors utilisé pour déterminer quelle option génère le bénéfice global le plus important sur l'environnement. Cette évaluation peut inclure les options « pas de traitement » ou « suivi de la restauration » lorsque la côte est tout particulièrement vulnérable aux impacts physiques et aux autres impacts générés par les opérations de traitement. Outre les impacts environnementaux, le NEBA peut également prendre en compte les enjeux culturels et socio-économiques. Pour en savoir plus sur le NEBA, consultez le Guide de bonnes pratiques de l'PIECA-IOGP intitulé Développement des stratégies de lutte au moyen de l'analyse des bénéfices écologiques et économiques en fonction des options de lutte envisagées (NEBA) (PIECA-IOGP, 2015b).

Encadré 6 Exemples des critères de validation du traitement des côtes

- Pas plus de 1 % de boulettes de goudron et dont le diamètre est inférieur à 2 cm.
- Pas de boulettes d'hydrocarbure ou de goudron supérieures aux taux de dépôt de référence (lorsqu'il existe de la documentation fiable sur le taux d'hydrocarbures naturel).
- Pas d'hydrocarbure sur les substrats solides d'une épaisseur supérieure à une couche (0,1 mm) et de plus 20 % de la surface.
- Pas d'hydrocarbure dans les eaux stagnantes présentant plus qu'un reflet argenté dans un marais, un puits ou une tranchée.
- Pas de pollution de surface supérieure à 10 % de la distribution et présentant une épaisseur supérieure à 1 cm.
- Pas d'hydrocarbure produisant des reflets irisés sur la perturbation.
- Pas d'hydrocarbure se détachant au contact.
- Pas de pollution souterraine plus important qu'un résidu d'hydrocarbure présentant une épaisseur de 4 cm et fragmentaire (50 % de la distribution).
- Le statut NFT est attribué au segment lorsque le traitement recommandé est appliqué.

Exemple de critères de validation : à droite, ci-contre : Boulettes de goudron < 1 % ; à l'extrême droite : Tâches < 10 %



Comment un programme d'évaluation des côtes polluées est-il mis en œuvre ?

Planification et stratégies d'évaluation

Portée du projet

La première étape de la lutte consiste à constater la taille potentielle de la zone polluée affectée et d'établir un programme d'évaluation du littoral à une échelle appropriée. Comme dans le cadre des opérations de lutte, les ressources mobilisées en vue de l'évaluation des côtes doivent être flexibles et renforcées ou démobilisées à tout moment au fil des évolutions. Tant que l'hydrocarbure se déplace, des survols quotidiens assortis de rapports sont nécessaires pour planifier la stratégie (portée du programme de lutte) et les tactiques (ou déployer les équipes d'évaluation au sol et les équipages opérationnels).

Segmentation

En divisant le littoral en segments gérables au début des opérations de lutte, ou dans le cadre de la planification avant le déversement, il sera possible d'établir une base de données dans le cadre de laquelle les documents, photographies et les cartes sur l'évaluation peuvent être facilement recoupés et les zones facilement localisées (voir l'encadré 2 à la page 15). La même segmentation doit être utilisée au fil des opérations de lutte par tous les intervenants afin d'éviter les confusions.

Coordination avec le personnel opérationnel

Même si le programme d'évaluation des côtes est intégré à la fonction de planification, il est essentiel que le programme d'évaluation des côtes soit en mesure de communiquer directement avec le personnel opérationnel évoluant sur la côte. Cela permettra de mettre en place un processus efficace en s'assurant que les équipes opérationnelles comprennent ce qui est exigé et qu'elles sont conscientes des enjeux environnementaux. Dans le même temps, les équipes d'évaluation des côtes prendront conscience des problèmes en termes de praticité, de faisabilité et de contraintes de temps qui pourraient survenir pendant le traitement. Un agent de liaison opérationnel nommé dans le cadre du SCAT, soit au sein des équipes opérationnelles, soit par création d'une fonction spécifique, pourrait faciliter les communications dans les deux sens sur :

- les orientations à donner au traitement ;
- les techniques et stratégies ;
- les limites opérationnelles et les conseils en matière de bonnes pratiques ;
- les restrictions environnementales, culturelles et socio-économiques ;
- la priorisation du traitement ;
- la compréhension et l'application des STR ; et
- l'identification des ressources et des contraintes logistiques (comme les points d'accès, les zones de stockage de matériel, les quais maritimes et les rampes de mise à l'eau, la qualité des routes et des infrastructures).

Coordination avec les parties prenantes

Les acteurs concernés, comme les responsables et les principaux organes gouvernementaux, sont en principe représentés dans le cadre du programme d'évaluation des côtes, soit au sein de l'équipe de gestion et/ou des équipes opérationnelles. Cela garantit une coordination et des communications de qualité ainsi que la prise de décisions convenues mutuellement en matière de pollution et de traitement des côtes. S'agissant des accidents majeurs impliquant plusieurs parties prenantes, la formation d'un groupe technique de travail peut s'avérer appropriée afin de s'assurer que les exigences et problèmes seront abordés dans le cadre du processus décisionnel (voir l'encadré 7 au verso).

Encadré 7 *Groupes techniques de travail*

Les critères de validation et les techniques de traitement recommandés par les équipes d'évaluation du littoral sont approuvés par les décideurs clés au niveau de direction. Des groupes techniques de travail (TWG) peuvent être formés pour s'assurer que les principales agences représentant les intérêts environnementaux, culturels et socio-économiques aux niveaux locaux à nationaux, et les acteurs concernés comme la partie responsable, le personnel opérationnel et le personnel de planification, ont tous l'opportunité de communiquer leurs exigences et leurs inquiétudes durant le processus décisionnel. Lorsque plusieurs environnements côtiers ont été pollués, des TWG peuvent être mis en place pour chaque type de côte (par ex., pour les plages de sable, les marécages et les côtes artificielles). Les données, informations et recommandations générées dans le cadre du programme d'évaluation des côtes sont fournies afin d'alimenter les débats au sein des TWG et utilisées pour la formulation des retours demandés par l'équipe de gestion des opérations de lutte, par exemple :

- la détermination des segments du littoral qui nécessitent un traitement ;
- la détermination des priorités des traitements ;
- la définition des critères de validation par type de côte ;
- la formulation de recommandations en matière de traitement des côtes par type d'habitat ;
- la recommandation de tests de terrain afin d'évaluer et comparer les différentes techniques de traitement ; et
- l'évaluation des données générées à l'occasion de l'évaluation des côtes via le processus opérationnelle afin de déterminer l'efficacité et les effets du traitement.

Le TWG ajoute un degré de confiance supplémentaire dans le processus décisionnel, en ce sens que les couches organisationnelles supérieures et les différents acteurs peuvent être assurés que les bons participants et les bons experts, dont les opinions ou les inquiétudes ont été examinés tout au long du processus, ont également été impliqués dans la formulation de recommandations sur le traitement et les critères de validation de fin de traitement. Les TWG contribueront dès lors à faire de la validation de ces recommandations un processus flexible, notamment lorsque plusieurs agences sont impliquées.

Les exigences applicables aux évaluations sur le terrain

La planification d'opérations d'évaluation des côtes doit inclure la mobilisation et la fourniture de nombreuses ressources à savoir :

- des équipes multi-agences formées et équilibrées ;
- des équipements (par ex., carnets, GPS, appareil photos, pelle, piquets, équipements de protection individuelle) ;
- des équipements de transport (par ex., par route, hors-route, par mer ou par air) ;
- un plan de sécurité et une procédure d'analyse de la sécurité du personnel afin d'identifier, éliminer ou réduire les nouveaux dangers ;
- des communications (par ex. les téléphones portables, les radios, les téléphones satellites) ; et
- les outils de formation (la documentation de travail, les manuels, les présentations de mise à niveau).

Une sélection type des ressources d'évaluations des côtes : (à droite, ci-contre) les équipements personnels y compris les équipements de protection individuelle, la trousse de premier secours, les vêtements de protection contre les intempéries, les GPS, les caméras et les carnets ; (à l'extrême droite) documents et informations, incluant des cartes, des plans, des documents de travail et des formulaires d'évaluation du littoral



Les plans seront mis en place et les ressources mobilisées afin de fournir des données suivantes :

- les formulaires de consignation des activités d'évaluation de la pollution du littoral (sur support papier ou électronique – voir l'Annexe 1) ;
- croquis/cartes ;
- photos/vidéos ;
- Position GPS ;
- données sur le type de plage (voir l'encadré 9 à la page 29) ; et
- données sur le suivi du site (voir l'encadré 9 à la page 29).

La gestion des données

Les opérations d'évaluation des côtes peuvent générer des quantités importantes de données qui doivent être collectées, revues, organisées et conservées. Les indicateurs de rendement convenus à l'avance doivent être mis en place au début des opérations de lutte. Les données sur la pollution des côtes (voir *Quels types de données sont générées ?* à la page 27) seront mis rapidement à la disposition de l'organisation de lutte afin que, dès que les équipes opérationnelles ont achevé les opérations d'évaluation, elles soient traitées rapidement par l'équipe en charge de leur gestion. Cette procédure inclut l'assurance qualité / le contrôle de la qualité (QA/QC) des données brutes, leur saisie dans une base de données dans le cadre d'une fonction de système d'information géographique (GIS), l'analyse des données, jusqu'à la présentation finale des données et leur conservation.

Les objectifs et stratégies des programmes d'évaluation des côtes et de lutte peuvent être synthétisés au moyen d'un plan de lutte sur les côtes (voir l'encadré 8) Une fois approuvé par l'équipe de gestion du déversement, ce plan définit ce qui doit être observé, les participants, les protocoles d'évaluation, et les objectifs, les priorités et les critères de validation dûment validés du traitement, les méthodes de traitement de la côte, ainsi que les processus d'inspection.

Encadré 8 *Le plan de lutte sur le littoral*

Un plan de lutte sur le littoral définit les objectifs, les priorités et les activités spécifiques d'un programme d'évaluation des côtes et décrit les méthodes de traitement ainsi que les critères de validation du programme de lutte sur le littoral, tel que convenu par les parties prenantes concernées. Le plan peut être exploité par l'équipe d'évaluation du littoral et les sections planification et opérationnelles dans la mesure où il permet à chacun de comprendre le processus ainsi que le niveau de coopération et de communication requis entre les différentes parties.

Les principales composantes d'un plan de lutte sur le littoral sont :

- la santé et la sécurité ;
- les objectifs du programme ;
- la gestion du programme ;
- les membres de l'équipe opérationnelle ;
- les méthodes et formulaires opérationnels :
 - la reconnaissance aérienne durant les phases initiales ;
 - les inspections du rivage ;
- le processus de traitement de la côte ;
- la gestion des données et le reporting ;
- les aspects logistiques ;
- les activités d'appui à la gestion du déversement ;
- les relations avec la section opérationnelle ;
- les critères de validation du traitement ;
- les options de traitement des côtes ;
- la priorisation du traitement par segment ; et
- le processus d'approbation et de validation.

Les considérations temporelles et spatiales

Ci-dessous : sillons creusés afin de déterminer la présence d'hydrocarbure souterrain sur une plage mixte de sable et de galets ; et (en bas) l'inspection d'un puits creusé manuellement pour évaluer la présence d'hydrocarbure souterrain.

Les opérations d'évaluation des côtes sont menées le plus tôt possible lorsque les déversements d'hydrocarbure affectent ou sont susceptibles d'affecter les ressources côtières. Quelle que soit la taille de l'accident ou sa localisation, le site et les conditions de la pollution doivent être documentés à des fins de planification et à des fins opérationnelles, juridiques ou afin de déterminer les responsabilités. L'échelle du programme d'évaluation des côtes varie en fonction de chaque accident. Un déversement mineur et localisé peut nécessiter seulement une à deux équipes opérationnelles, les survols, les données et le volet logistique étant coordonnés par une seule personne depuis le poste de commande ; au contraire, un déversement affectant des dizaines ou des centaines de kilomètres peut nécessiter la mobilisation de plusieurs équipes opérationnelles soutenues par un important groupe d'appui chargé de la gestion des données, du soutien GIS, de l'appui logistique et des relations avec la section opérationnelle. Une fonction importante des équipes d'évaluation des côtes durant la phase de lutte initiale consiste à présenter les informations clés générées durant les opérations d'évaluation quotidiennes aux sections planification et opérationnelles. Ces informations seront transmises à temps au personnel de lutte, afin de lui permettre d'intégrer de telles informations en vue des activités du jour suivant. Les équipes d'évaluation devront maintenir une avance de deux ou trois jours par rapport aux équipes opérationnelles durant les phases initiales des opérations de lutte ; toute avance plus importante présente un risque dans la mesure où les données sur la côte pourraient devenir obsolètes suite à l'évolution des caractéristiques de la pollution, notamment durant les premières phases de la lutte, lorsque l'hydrocarbure est encore relativement frais et mobile.



Les équipes doivent être prêtes à rechercher des hydrocarbures souterrains dans le cas où l'hydrocarbure aurait pénétré les sédiments de la plage, ou aurait été retravaillé ou recouverts par les sédiments sous l'action des vagues. Plusieurs méthodes de détection et de délimitation peuvent être envisagées (API, 2013) ; dans certains cas, de vastes opérations d'évaluation systématique peuvent s'avérer nécessaires, par exemple en présence de dépôts diffus et variables d'hydrocarbure souterrain (Owens et al., 1995).

Lors de la mobilisation du personnel opérationnel d'évaluation, il est important de prendre en considération le temps qui peut être consacré à la lutte par une personne. Un accident majeur pourrait nécessiter un programme d'évaluation des côtes sur plusieurs mois voire plusieurs années ; afin de garantir la cohérence et la précision des données, il est préférable de mobiliser le même personnel dûment formé tout au long du programme.



Les équipes doivent être prêtes à être à rencontrer des environnements variés et des particularités régionales, et seront parfois amenées à comprendre d'autres processus applicables sur les côtes, différents types d'évaluations et de formulaires, des exigences différentes en matière de transport, de sécurité et de tenue ou d'équipement de protection individuelle. Dans les estrans, la planification des activités d'évaluation doit intégrer l'étendue de l'estran et les hauteurs des marées afin que les équipes opérationnelles puissent observer la zone intertidale dans son ensemble durant leur évaluation. Les environnements rencontrés sur le terrain incluent :

- les côtes maritimes ;
- les rivières et les berges ;
- les rives des lacs ;
- les environnements terrestres ; et
- les variations régionales, par ex. :
 - les climats tempérés ;
 - tropicaux ; et
 - arctiques / glaciaux ou hivernaux.

Quels types de données sont générées ?

Les données générées par les opérations d'évaluation sur le terrain incluent les tableaux, les graphiques, les cartes, les photographies et les rapports. Les données recueillies sur le terrain sont des données scientifiques, les synthèses de données devant être facilement comprises par le personnel non expert et le grand public.

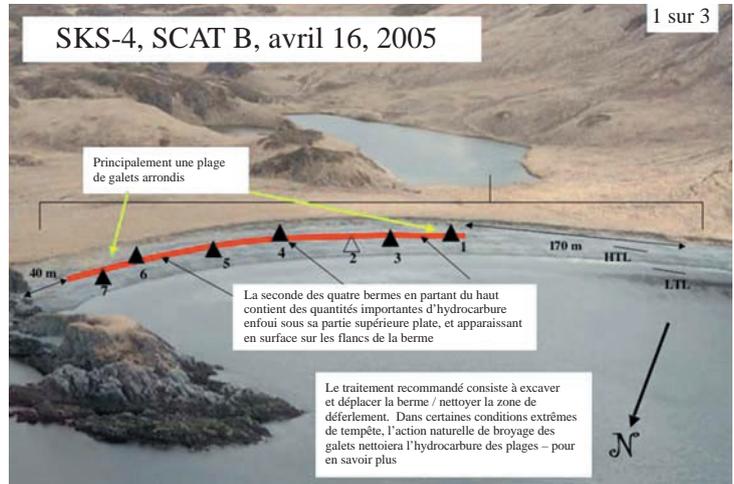
Les données de terrain, qui incluent les formulaires de consignations des activités d'évaluations des côtes, des croquis, des photographies (voire à droite), des vidéos et les lignes de trajectoires ainsi que les points de cheminement GPS, sont compilées par le responsable des données ou l'équipe de gestion des données qui établira des cartes ou d'autres présentations visuelles liées aux synthèses spécifiques au segment ou locales / régionales (voire les photographies au verso).

Les tableaux et graphiques de synthèse permettent également de générer des informations sur la situation (voir le tableau 1 à la page 28).

Les compilations de données sur les pollutions du littoral documentent la distribution précédente et actuelle ainsi que les caractéristiques de la pollution, reflétant les changements au fil du temps ainsi que les progrès de la restauration naturelle et/ou du traitement du littoral.

Les données générées par l'évaluation des côtes et les informations synthétiques en découlant sont importantes, non seulement à l'égard du personnel de gestion du déversement et des parties prenantes pour appuyer le processus décisionnel et de planification, mais aussi pour le grand public afin de faciliter la compréhension d'une situation qui évolue.

Les photographies à droite montrent différents niveaux de détails de l'état de pollution des côtes au sein du même segment. (Owens et al., 2008).



Cartes d'état de la pollution des côtes : (en haut) un environnement marécageux (segments polygonaux) et les rives d'un lac (segments linéaires) pollués ; et (ci-dessous) les segments linéaires de côte sur une voie navigable commerciale.



Les ensembles de données peuvent inclure :

- les formulaires/rapports sur les opérations de reconnaissance aérienne ;
- les formulaires sur les opérations d'évaluation de la pollution du littoral ;
- les photographies et les vidéos ;
- les trajectoires et points GPS ;
- les croquis et cartes de terrain ;
- les recommandations en matière de traitement des côtes (STR) ;
- les tableaux sur la pollution et les tableaux d'état ;
- les cartes de pollution et les cartes d'état ;
- les cartes opérationnelles, présentant les zones en cours de traitement ;
- les diagrammes (par ex., des séries chronologiques présentant les progrès réalisés) ;
- les suivis historiques (segment chronologique – actions spécifiques tout au long de la lutte) ;
- types et rapports concernant les plages (voir l'encadré 9 en page 29) ;
- la surveillance photographique et les séries de données chronologiques (encadré 9) ;
- les données culturelles/historiques ; et
- les informations sur la faune relevées à l'occasion des opérations d'évaluation des côtes.

Tableau 1 Pollution tableau de synthèse réalisé à partir de l'évaluation des rives polluées d'un lac

Type de côte	Longueur polluée (m)	% de la longueur totale polluée	Longueur par catégorie de pollution (m)			
			importante	modérée	Légère / très légère	Pas d'hydrocarbure observé
Jonc/roseau	23 315	71,3	14 464	4 669	4 182	6 512
Bordure marécageuse	4 545	13,9	2 525	786	1 234	10 555
Galets - cailloux	1 392	4,3	1 268	39	85	1 668
Rocher -cailloux	952	2,9	54	323	575	7
Sédiment mixte	806	2,5	0	260	546	5 343
Berges recouvertes de végétation	676	2,1	138	53	485	4 134
Sable	295	0,9	78	30	187	940
Tourbière/terre	286	0,9	150	74	62	0
Artificiel, perméable	227	0,7	0	0	227	410
Boue	194	0,6	0	194	0	493
TOTAUX	32 688	100,0	18 677	6 428	7 583	30 062

Encadré 9 *Données supplémentaires de terrain*

Outre les formulaires de consignation des activités d'évaluation des côtes, les croquis et photographies, les équipes opérationnelles d'évaluation des côtes peuvent produire d'autres données pouvant s'avérer utiles en vue de la lutte. Cela peut inclure des vidéos aériennes et des vidéos des côtes, les types de plages, des données de surveillance photographique, ainsi que toutes les informations sur les enjeux écologiques, culturels, socio-économiques, logistiques et sécuritaires. Les équipes opérationnelles d'évaluation, étant « les yeux sur le terrain », peuvent également localiser et signaler les équipements opérationnels échoués, comme les barrages flottants et les ancrages échoués sur les côtes, ainsi que la faune souillée.

Les données sur le type de plages

Lorsque l'hydrocarbure a été enterré ou est susceptible d'être enterré par les sédiments sous l'action des processus dynamiques côtiers, ou lorsqu'il a pénétré les sédiments grossiers, les données sur le type de plage sont essentielles pour aider le personnel de lutte à comprendre où l'hydrocarbure a été enterré et à quelle profondeur. Les données peuvent être collectées périodiquement en procédant à des inspections périodiques des types de plages afin d'identifier les changements du niveau des plages au fil du temps. En associant les données sur le type de la plage avec les données initiales sur la pollution, l'équipe de gestion des données peut indiquer aux équipes opérationnelles où rechercher de l'hydrocarbure enfoui.

Surveillance photographique et données chronologiques

La surveillance photographique à des endroits spécifiques (identifiés au moyen des caractéristiques côtières ou de piquets) et les angles capturés par les appareils photos permettent de générer des données chronologiques utiles sous la forme de formulaires et de photographies, représentant les changements des circonstances de la pollution, la couverture végétale, l'érosion et les modifications des profils au fil du temps. Cela est très utile pour illustrer la progression de la restauration naturelle et le traitement des côtes affectées à l'égard du personnel de lutte, des tierces parties et du public.



Série chronologique de photographies des prises dans le cadre des opérations de surveillance photographique d'un marais pollué montrent l'évolution de la pollution à travers le temps ; (en haut) immédiatement après la pollution ; (en bas) plusieurs mois après la pollution initiale.



Comment les programmes de traitement du littoral sont-ils clôturés ?

Les équipes d'évaluation des côtes formées et expérimentées sont en mesure de mettre en place un processus permettant une clôture harmonieuse et efficace des opérations de traitement des côtes. Les opérations de lutte sont terminées lorsque toutes les parties responsables conviennent qu'un traitement approprié et suffisant a été appliqué et que toute autre activité future risque de ne plus produire de bénéfice écologique et économique ou de ne plus être réalisable (voir encadré 5 à la page 21). Un programme d'évaluation des côtes global et interinstitutionnel satisfera les différentes parties et acteurs mobilisés, depuis les missions initiales d'évaluation des côtes jusqu'aux recommandations en matière de validation de l'inspection du segment.

Reconnaitances du littoral et rapports

Les missions d'évaluation des côtes visent principalement à parvenir à un consensus au sein de l'équipe s'agissant des observations de la pollution et des recommandations de traitement afin de s'assurer que les informations partagées sont cohérentes et précises. Les membres de l'équipe doivent parvenir à un accord pour chaque segment de la zone afin de s'assurer qu'aucune information importante ne sera omise ou oubliée lors de l'élaboration des documents officiels après les missions d'évaluation. Les données de terrain, y compris les formulaires de consignation des activités d'évaluation des côtes souillées, les cartes, les photographies et les croquis sont compilés pour chaque segment. Les formulaires de consignation des activités d'évaluation du littoral souillé se composent d'une synthèse descriptive des circonstances de la pollution pour le segment et de recommandations en matière de traitement dans le cas où la pollution dépasserait les critères de validation, ainsi qu'une indication de si ce traitement produirait un bénéfice écologique.

Les recommandations en matière de traitement du littoral (STR)

Lorsque les équipes opérationnelles recommandent un traitement, les STR sont formulées aux fins d'approbation par les décideurs puis soumises à la section opérationnelle afin d'orienter les activités de nettoyage des côtes. (voir *Options et contraintes de traitement*, à la page 20).

Approbation et validation

Lorsque l'équipe d'évaluation de la pollution du littoral convient qu'un segment ne requiert plus aucun traitement (NFT) car :

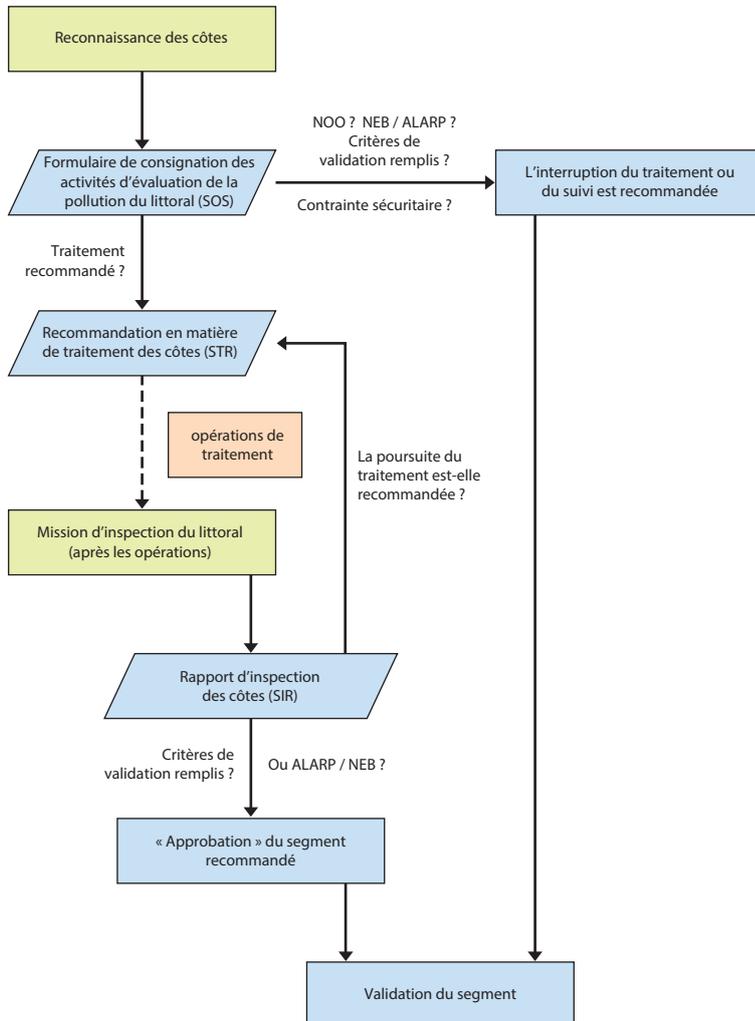
- (a) le segment remplit les critères de validation convenus ;
- (b) l'équipe d'évaluation considère que la pollution est « aussi faible que raisonnablement possible » (ALARP); ou
- (c) ils évaluent que la poursuite du traitement ne saurait produire d'autres bénéfices écologiques nets, ils font part de leurs recommandations sur un rapport d'inspection des côtes (SIR). Voir NWACP 2014 pour un exemple de formulaire SIR.

En outre :

- (d) l'agent de sûreté peut décider que des risques qui ne peuvent être réduits empêchent la poursuite des activités sur le terrain.

C'est le personnel de gestion de la lutte qui donnera son « approbation » finale à la validation du segment (par exemple, le Gestionnaire de l'accident) sur le fondement des recommandations formulées par les équipes opérationnelles.

Figure 8 Processus de validation du segment



La figure 8 présente les étapes de base, depuis les opérations initiales d'évaluation des côtes jusqu'à la validation de chaque segment.

Un programme d'évaluation du littoral efficace permet :

- de générer des informations et des données en temps utile, au début des opérations de lutte afin d'établir un programme de lutte sur les côtes à une échelle correspondante ;
- d'épauler le personnel opérationnel afin qu'il comprenne bien les exigences en termes d'objectifs de traitement et les inquiétudes ou contraintes inhérentes à leurs actions ou activités ;
- d'intégrer les parties qui, eu égard à la législation, à la gestion des terres ou pour toute autre raison, doivent participer à la définition des objectifs et critères de traitement, et au processus d'inspection/de clôture ; et
- de produire un rapport formel sur l'état de la pollution et le traitement au fil de la lutte.

Annexe 1 : Exemple de formulaire de consignation des activités d'évaluation de la pollution du littoral

Le formulaire ci-dessous (POSOW, 2013) est destiné aux côtes marines et a été établi par des enquêteurs non techniques. Des formulaires plus techniques sont proposés par MCA (2007), NOAA (2013) et Owens et Sergy (2004).

Les circonstances de la pollution en surface et en sous-sol sont consignées sur le formulaire présenté respectivement dans les encadrés 6 et 7. Les méthodes de détection et de délimitation des hydrocarbures souterrains sont décrites dans l'API (2013).

box 1	GENERAL INFORMATION		Incident:	Date:							
	Commune/Region		Survey time:to.....	Tide:							
box 2	SURVEY TEAM		Organisation:	Telephone number:							
box 3	SEGMENT		Segment ID:	Name of site:							
	Total Length:m		Length surveyed: m								
	Start GPS: Lat		Long:	Other ref:							
	End GPS: Lat		Long:	Other ref:							
	Exposure: high / medium / sheltered / very sheltered / don't know										
	Coastline type description (i.e estuary, boulder beach, marsh, cliff coastline, port.....):										
box 4	TOOL BOX: SHORELINE SUBSTRATE TYPE DESCRIPTION (NOT TO BE FILLED IN)										
	Man-made structures	[solid (quay...)]	Sand (60 µm to 2 mm)								
		[permeable (rip-rap...)]	Mud (<60 µm) (grains not visible)								
	Cliff	[rocky	Mixed sediments								
		[soft	Sand with vegetation (dune)								
	Bedrock platform		Mud with vegetation (saltmarsh)								
	Boulder (> 25 cm)										
	Cobble (6 cm to 25 cm)										
	Pebble (2 cm to 6 cm)										
	Granule (2 mm to 2 cm)										
box 5	OPERATIONAL FEATURES										
	Direct backshore access?	yes/ no	Suitable: pedestrian / trucks								
	Accessible from the neighbouring segment?	yes / no	Suitable: pedestrian / trucks								
	Debris?	yes / no	Not much / a lot / don't know / approx. volume:	Oiled? yes / no							
	Algae/posidonia deposit?	yes / no	Not much / a lot / don't know / approx. volume:	Oiled? yes / no							
	Oiled fauna?	yes / no	Type	Nbr:							
	Uses: tourism / fishing / other:	Conservation: yes/no. If yes, specify: historical / archaeological / nature									
boxes 6 & 7	SURFACE OIL		If the segment has relatively uniform oiling conditions along or across shore, complete one section: zone A. If not, subdivide the segment into as many zones as necessary and complete as many sections : B, C, D...								
	SUBSURFACE OIL										
	ZONE A		Level: upper beach / middle beach / lower beach (circle option). If necessary: Long:..... Lat:.....								
	Substrate		6. Surface oil? yes / no			7. Subsurface oil: yes / no / don't know					
	(choose type from Box 4)	Length (m)	Width (m)	Distr*	Thick**	Charact***	Pit ID	Penetration depth (cm)	Buried		
									depth (cm)	thickness (cm)	water (cm)

* **Distribution:** Trace < 1%; **SP**oradic [1-10%]; **PA**tchy [11- 50%]; **BR**oken [51-90%]; **CO**n tinuous [91-100%]

** **Thickness:** **TO** = Thick Oil >1 cm; **CV** = CoVer 1 mm to 1 cm; **CT** = CoaT <1 mm; **FL** = **FL**m = transparent sheen

*** **Characteristics:** **FR** = **FR**esh; **MS** = **Mou**Sse; **TB** = **Tar** Balls <10 cm; **PT** = **Tar** Patties: 10 cm to 1 m; **PA** = **PA**tches: 1 to 30 m; **SR** = **SR**face oil Residue: non cohesive oiled sediment; **AP** = **AS**phalt **PA**vement: cohesive mixture; **TA** = **TA**rry: almost solid weathered oil.

boxes 6 & 7

ZONE B Level: upper beach / middle beach / low beach (circle option). If necessary: Long:..... Lat:.....

Substrate	6. Surface oil? yes / no					7. Subsurface oil: yes / no / don't know				
(choose type from Box 4)	Length (m)	Width (m)	Distr*	Thick**	Charact***	Pit ID	Penetration depth (cm)	Buried		
								depth (cm)	thickness (cm)	water (cm)

ZONE C Level: upper beach / middle beach / lower beach (circle option). If necessary: Long:..... Lat:.....

Substrate	6. Surface oil? yes / no					7. Subsurface oil: yes / no / don't know				
(choose type from Box 4)	Length (m)	Width (m)	Distr*	Thick**	Charact***	Pit ID	Penetration depth (cm)	Buried		
								depth (cm)	thickness (cm)	water (cm)

ZONE D Level: upper beach / middle beach / lower beach (circle option). If necessary: Long:..... Lat:.....

Substrate	6. Surface oil? yes / no					7. Subsurface oil: yes / no / don't know				
(choose type from Box 4)	Length (m)	Width (m)	Distr*	Thick**	Charact***	Pit ID	Penetration depth (cm)	Buried		
								depth (cm)	thickness (cm)	water (cm)

BACK TO BOX N° 3 TO FILL IN THE LENGTH SURVEYED!

box 8

GENERAL COMMENTS / SKETCH

* **Distribution:** **Tr**ace < 1%; **SP**oradic [1-10%]; **PA**tchy [11- 50%]; **BR**oken [51-90%]; **CO**ntinuous [91-100%]
 ** **Thickness:** **TO** = Thick Oil >1 cm; **CV** = CoVer 1 mm to 1 cm; **CT** = CoaT <1 mm; **FL** = FILm = transparent sheen
 *** **Characteristics:** **FR** = FResh; **MS** = MouSse; **TB** = Tar Balls <10 cm; **PT** = Tar Patties: 10 cm to 1 m; **PA** = PAches: 1 to 30 m;
SR = Surface oil Residue: non cohesive oiled sediment; **AP** = Asphalt Pavement: cohesive mixture; **TA** = TArry: almost solid weathered oil.

Annexe 2 : Liste de tâches du programme d'évaluation de la pollution du littoral

Cette liste de tâches est inspirée de NWACP, 2014.

Phase réactive initiale

- Dépêcher une reconnaissance aérienne et/ou des équipes au sol pour recueillir les informations préliminaires sur la côte polluée.
- Mettre en place des communications et une coordination avec le personnel opérationnel et le personnel de sûreté.
- Nommer un coordinateur du programme d'évaluation des côtes.
- Définir les objectifs du programme d'évaluation des côtes, en se basant sur les objectifs généraux de la lutte.
- Définir la portée et l'envergure de la zone initiale qui sera inspectée par les équipes opérationnelles d'évaluation des côtes.
- Déterminer qui participera aux opérations d'évaluation sur le terrain (c'est-à-dire, qui est représenté au sein des équipes opérationnelles).
- Déterminer le nombre d'équipes opérationnelles d'évaluation et le niveau approprié des effectifs de soutien.
- Segmenter la zone inspectée (si la zone est pré-segmentée, vérifiez si des révisions sont nécessaires et procédez aux modifications requises).
- Mettre en place un système de gestion des données et, si possible, accéder à une représentation numérisée de la côte.
- Sélectionner et, si nécessaire, modifier les formulaires de consignation des activités d'évaluation des côtes à utiliser par les équipes de terrain et consulter le responsable des données pour garantir leur compatibilité.
- Établir et développer des indicateurs concernant l'établissement des rapports d'évaluation des côtes.
- Définir un calendrier d'évaluation et d'élaboration des rapports, afin de fournir les informations importantes de l'évaluation à temps pour bonne prise en compte dans le calendrier de planification en vue des opérations sur les côtes.
- Identifier les considérations en matière de santé et de sécurité spécifiques à l'accident en vue des opérations d'évaluation des côtes.
- Identifier et installer les principaux équipements logistiques et d'évaluation destinés aux équipes de terrain.
- Commencer à établir un plan de lutte sur les côtes.

La phase de planification

- Finaliser le plan de lutte sur les côtes.
- Déterminer quelles zones seront inspectées et prioriser les segments (peut nécessiter les données recueillies lors des survols).
- Préparer, déployer et gérer les équipes d'évaluation sur le terrain.
- Mettre en place une procédure de compilation des données de terrain et partager des données pertinentes avec les responsables de la lutte et au personnel de planification, au moyen d'indicateurs convenus à l'avance.
- Définir des procédures de conversion des données de terrain sur la pollution en recommandations de traitement des côtes, qui doivent intégrer les recommandations des parties prenantes, la conformité aux exigences réglementaires (spécifiques au site) et l'approbation de l'équipe de gestion.
- Déterminer comment les critères de validation du traitement sont sélectionnés (par exemple, dans le cadre des groupes techniques de travail, si nécessaire).
- Définir et soumettre les recommandations initiales en matière de nettoyage et les critères de validation à l'équipe de gestion pour approbation.

La phase opérationnelle

- S'assurer que tous les éléments du plan de lutte sur les côtes sont pris en compte et documentés.
- Suivre l'efficacité des opérations de nettoyage.
- Suivre et documenter les changements affectant les sites, les caractéristiques et l'ampleur de la pollution.
- Élaborer des synthèses et rapports de progrès périodiques (au départ, des rapports d'informations quotidiens pourront être élaborés cependant des synthèses hebdomadaires seront ensuite suffisantes).

La phase de validation

- Déterminer le processus/les procédures d'inspection, de validation et d'approbation officiels.
- Établir un protocole de communication avec la section opérationnelle indiquant au coordinateur du programme quand les traitements de nettoyage ont été réalisés sur un segment donné.
- Définir s'il est nécessaire de procéder à une nouvelle évaluation, qui servira de répétition générale, avant l'approbation finale et les inspections de clôture avec les propriétaires/les responsables des terres.
- Déployer des équipes d'évaluation des côtes chargées de procéder à des inspections des opérations de nettoyage afin de confirmer que les critères de validation ont bien été remplis.
- Assurez-vous que tous les documents ont été collectés et archivés.
- Documenter et diffuser les enseignements tirés des opérations d'évaluation et de traitement des côtes.

Acronymes

ALARP	Aussi faible que raisonnablement possible
GIS	Systèmes d'information géographique
GPS	Système de positionnement global
IMS	Système de gestion des incidents
IMO	Organisation maritime internationale
IPIECA	Association Internationale de l'industrie pétrolière pour la Protection de l'Environnement
NEBA	Analyse des bénéfices écologiques et économiques en fonction des options de lutte envisagées
NFT	Plus aucun traitement
NOO	Aucun hydrocarbure observé
PPE	Équipement de protection individuel
QA/QC	Assurance qualité/contrôle qualité
SCAT	Technique d'évaluation et de nettoyage des côtes
SIR	Rapport d'inspection sur les côtes/les segments
SOS	Synthèse sur la pollution des côtes
STR	Recommandation en matière de traitement des côtes
TWG	Groupe technique de travail

Remerciements

Le texte de ce guide a été préparé par Ed Owens et Helen Chapman Dubach (Owens Coastal Consultants).

Bibliographie

- API (2013). *Subsurface Oil Detection and Delineation in Shoreline Sediments: Phase 2 – Field Guide*. API Technical Report 1149-2, Washington DC, 22 pp.
- IMO/UNEP (2009). Regional Information System; Part D, Operational Guides and Technical Documents, Section 13, *Mediterranean Guidelines on Oiled Shoreline Assessment*. Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea (REMPEC), September 2009.
- IPIECA-IOGP (2015a). *Contingency planning for oil spills on water*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 519. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2015b). *Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA)*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 527. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2016). *Incident management system for the oil and gas industry*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 517. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA/IMO/IOGP (2012). *Sensitivity mapping for oil spill response*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 477. <http://oilspillresponseproject.org>
- MCA (2007). *The UK SCAT Manual: A Field Guide to the Documentation of Oiled Shorelines in the UK*. Maritime & Coastguard Agency, Southampton, UK.
- NOAA (2013). *Shoreline Assessment Manual, 4th Edition*. U.S. Dept. of Commerce, Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 73 pp + appendices.
- NWACP (2014). *Section 9421—Shoreline Cleanup and Assessment (SCAT) Response Tools*, NorthWest Area Contingency Plan, SCAT Task Force, Seattle WA, USA. www.rrt10nwac.com/NWACP/Default.aspx
- Owens, E. H., Davis, R. A., Jr., Michel, J. and Stritzke, K. (1995). *Beach cleaning and the role of technical support in the 1993 Tampa Bay spill*. Proceedings, International Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, DC, Pub. No. 4620, 627-634.
- Owens, E. H., Engles, J. W., Lehmann, S., Parker-Hall, H. A., Reimer, P. D. and Whitney, J. (2008). *M/V Selendang Ayu Response: Shoreline Surveys and Data Management; Treatment Recommendations; and the Completion Inspection Process*. Proceedings, International Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington DC, 1193-1199.
- Owens, E. H. and Reimer, P. D. (2013). Surveying Oil on the Shoreline. In *Oil in the Environment: Legacies and Lessons of the Exxon Valdez Oil Spill*. Ed. J. A. Wiens, Cambridge University Press, 78-97.
- Owens, E. H. and Sergy, G. A. (2004). *The Arctic SCAT Manual: A Field Guide to the Documentation of Oiled Shorelines in Arctic Environments*. Environment Canada, Edmonton, AB, Canada.
- POSOW (2013). *Oiled Shoreline Assessment Manual*. Preparedness for Oil-polluted Shoreline cleanup and Oiled Wildlife Interventions (POSOW), REMPEC Mediterranean Technical Working Group, Malta.
- www.shorelinescat.com A website for SCAT resources.

IPIECA

L'IPIECA est l'association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement et les questions sociales. Elle développe, diffuse et promeut les bonnes pratiques et les connaissances afin de permettre à l'industrie d'améliorer son impact sur l'environnement et la société ; elle constitue le principal canal de communication de l'industrie avec les Nations-Unies. Grâce à ses groupes de travail conduits par les membres et à sa direction, l'IPIECA rassemble l'expertise collective des entreprises et associations pétrolières et gazières. Sa position unique au sein de l'industrie permet à ses membres de traiter efficacement les enjeux clés en matière environnementale et sociale.

www.ipieca.org



L'IOGP représente l'industrie des hydrocarbures en amont des organisations internationales, y compris l'Organisation maritime internationale, le Programme environnemental des Nations Unies (UNEP), les Conventions régionales dans le domaine marin et les autres groupes sous l'égide des Nations-Unies. Au niveau régional, l'IOGP représente l'industrie auprès de la Commission européenne, du Parlement européen et de la Commission OSPAR pour l'Atlantique Nord-Est. Le rôle de l'IOGP dans la promotion des meilleures pratiques, notamment en matière de santé, de sécurité, d'environnement et de responsabilité sociale est tout aussi important.

www.iogp.org

