

Nettoyage du littoral pollué



suite à un déversement
d'hydrocarbures

GUIDE OPÉRATIONNEL

Cedre

Cedre

Nettoyage du littoral pollué

suite à un déversement
d'hydrocarbures

GUIDE OPÉRATIONNEL

Information
Décision
Intervention

Ce guide a été réalisé avec le soutien financier du Ministère de la Transition écologique et de l'UFIPEM.

Rédacteur : Loïc Kerambrun

Tous droits réservés. La maquette, les photos, les schémas et tableaux sont protégés par le droit d'auteur et restent la propriété du Cedre (sauf indication contraire) et ne peuvent être reproduits sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit sans l'autorisation écrite préalable du Cedre. Les textes de ce guide sont la propriété du Cedre et ne peuvent être reproduits ou utilisés sans citer la source et sans autorisation préalable.

Les informations contenues dans ce guide sont issues d'un travail de synthèse et de l'expérience du Cedre. Celui-ci ne pourra être tenu responsable des conséquences de leur utilisation.

Le nom du Cedre devra apparaître sur les actes d'exploitation de ce document. Le référencer comme ceci :

KERAMBRUN L. Nettoyage du littoral pollué suite à un déversement d'hydrocarbures.

Brest : Cedre, 2022, 150 p. (Guide opérationnel).

Édition : juillet 2022

Ré-impression : mai 2023

Objet et structure du guide

Le présent guide de nettoyage du littoral pollué suite à un déversement d'hydrocarbures fait la synthèse des connaissances du Cedre acquises au cours d'études et d'expérimentations diverses menées depuis sa création mais aussi lors d'accidents survenus en France et à l'étranger. Cette publication dédiée au nettoyage du littoral comporte 6 parties :

- les généralités (« ce qu'il faut savoir ») concernant l'environnement (les processus et facteurs environnementaux influents et la classification des littoraux qui en découle), le polluant (l'évolution, le comportement et l'impact des différents hydrocarbures à la côte) et le cadre général de l'intervention (ses phases, son organisation, et le processus de décision) ;

- l'intervention à proprement parler (« ce qu'il faut faire ») où sont présentées les différentes techniques de lutte (protection et nettoyage) ;

- les critères de choix, contraintes et procédures de mises en œuvre ;

- la gestion des chantiers de nettoyage ;

- les fiches descriptives des techniques à mettre en œuvre dans les différentes phases de l'intervention qui englobent les mesures de protection préalables, les techniques de nettoyage à proprement parler et les mesures de gestion des chantiers ;

- les compléments d'information.



Chantier de nettoyage

Sommaire

A	LES GÉNÉRALITÉS : CE QU'IL FAUT SAVOIR	5
	A.1 - L'environnement	6
	A.2 - Le polluant	18
	A.3 - L'intervention	24
B	L'INTERVENTION : CE QU'IL FAUT FAIRE	27
	B.1 - Techniques de protection du littoral (autres que par barrages flottants)	28
	B.2 - Phase 1 : le ramassage grossier	31
	B.3 - Phase 2 : le nettoyage fin	45
C	CHOIX, CONTRAINTES ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES TECHNIQUES	57
	C.1 - Matrices de choix	58
	C.2 - L'intervention par substrats (fiches synoptiques)	69
	C.3 - Des éléments d'appréciation des techniques	86
D	LA GESTION DES CHANTIERS	89
	D.1 - La définition du chantier	90
	D.2 - La sécurité des personnes et la sécurisation du chantier	92
	D.3 - Le respect de l'environnement	93
	D.4 - La maintenance du matériel	95
	D.5 - La gestion des déchets	96
	D.6 - Le suivi comptable des chantiers	97
E	LES TECHNIQUES : FICHES DESCRIPTIVES	99
	E.1 - Principales techniques de protection du littoral (autres que par barrages flottants)	100
	E.2 - Principales techniques de nettoyage (phase 1 et phase 2)	106
	E.3 - Mesures de gestion des chantiers de nettoyage	135
F	COMPLÉMENT D'INFORMATION	145
	F.1 - Glossaire et sigles	146
	F.2 - Bibliographie et adresses Internet utiles	148

Cedre

Les généralités : ce qu'il faut savoir

A

- L'environnement _____ A1
- Le polluant _____ A2
- L'intervention _____ A3

L'environnement

A1

La morphologie des littoraux varie en fonction de leur histoire géologique, de leur exposition aux vagues, de la nature de leur substrat et, aussi pour ce qui concerne plus particulièrement les accumulations de sédiments, de la taille de leur grain moyen (allant de la vase aux blocs) et du volume du stock sédimentaire disponible.

Les vagues et les marées – et les courants qu'ils induisent respectivement – sont les principales forces qui agissent sur les littoraux, les façonnant et les modifiant.

Ces mêmes facteurs influent sur le comportement et le devenir de l'hydrocarbure échoué à la côte et peuvent en outre aider ou entraver les opérations de nettoyage.

Configuration, substrat, exposition et sensibilité permettent une classification des différents types de côtes.

Les processus dynamiques côtiers

Les vagues

Issues de la mer, du vent ou de la houle, elles dissipent leur énergie à la fois dans les petits fonds (réfraction sur le fond) et sur le littoral (par diffraction et réflexion). L'intensité de cette énergie est fonction de la distance de la course du vent (ou fetch), de sa durée et de sa vitesse moyenne, faisant qu'en fonction de leur orientation et de leur ouverture au large, certains secteurs côtiers sont plus exposés ou battus que d'autres qui sont naturellement plus abrités des houles.

Les vagues sont à l'origine de la géomorphologie littorale et sous-marine. Elles commandent les mouvements du stock sédimentaire (transport, sédimentation et remobilisation). Elles construisent les accumulations de sédiments (de vase, de sables, de graviers ou de galets) et alimentent ces dernières en redistribuant les matériaux apportés par les cours d'eau et ceux libérés par l'érosion de la côte à laquelle elles procèdent continuellement.

Le stock sédimentaire d'un secteur côtier est en équilibre avec les forces hydrodynamiques (houles, courants et marées) prédominantes qui le caractérisent ; la géomorphologie littorale locale résulte de cet équilibre. Ce dernier est régulièrement rompu, de manière épisodique (lors d'une tempête, par exemple) ou saisonnière (changement de régime de houle) : une partie ou la totalité du stock sédimentaire de la plage est alors remis en mouvement.

En cas de pollution, les vagues ont des effets divers qui peuvent être parfois antagonistes :

- mélanger l'hydrocarbure avec l'eau par phénomène de dispersion (huile dans l'eau) ou émulsification (eau dans l'huile) ;
- commander, avec le vent, la dérive du polluant en mer ainsi que le point de son échouage à la côte ;
- empêcher le polluant d'atteindre les falaises les plus exposées, par phénomène de réflexion sur les parois ;
- enfouir l'hydrocarbure échoué par phé-

nomène d'accrétion/apport de sable (engraissement des plages) ;

- nettoyer la plage par effet de lessivage, d'abrasion et d'érosion ;
- projeter l'hydrocarbure dans la zone supratidale d'où il ne pourra plus être repris par la mer et où il sera momentanément directement exposé aux facteurs atmosphériques, notamment aux UV du soleil, facteur majeur de dégradation photochimique des hydrocarbures ;
- compromettre la sécurité des intervenants et la mise en œuvre d'opérations de lutte, voire casser du matériel.



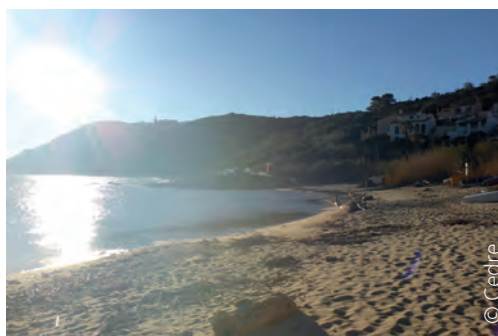
Agitation : reprise du polluant

Les marées

Les marées exposent l'estran* à l'action des vagues de façon plus ou moins régulière, en l'inondant et le découvrant alternativement à des hauteurs variables.

Les déplacements rythmés de masses d'eau, engendrés par ces montées et baisses incessantes de la mer, génèrent des courants qui, peu importants en mer ouverte, sont significatifs dans les passes resserrées et les baies peu profondes du littoral.

Les marées influent sur l'extension, horizontale et verticale, de la pollution. Elles déterminent souvent la mise en place des chantiers (adaptation des horaires, repli journalier parfois obligatoire).



Site à marée basse en Méditerranée



Site à marée haute en Méditerranée

Les courants proches de la côte

Les courants locaux à prendre en compte sont de divers types :

- les **courants de marée** qui varient en fonction du type de marée (diurne, semi-diurne) et dont l'intensité augmente avec le marnage (dont l'importance varie selon les côtes) et dans les endroits resserrés de la côte. Le flot favorise l'arrivée, vers le haut de la plage, du polluant qui se dépose sur l'estran* lors du jusant* ;
- les **courants induits par les vagues** qui sont de deux types :
 - les **dérives littorales** qui, plus ou moins parallèles au rivage, résultent d'une attaque oblique du littoral par la houle. Elles déterminent le transport et la direction générale de la migration du stock sédimentaire le long des grands secteurs littoraux linéaires, de type dune (sable) ou falaise (galets) ;

- les **courants de retour** qui, obliques ou perpendiculaires au littoral, permettent le reflux vers le large, en passage forcé, des masses d'eau importantes qui sont parfois propulsées en série à la côte, à marée montante, par un train de très fortes vagues.
- les **courants induits par les rivières**, qui peuvent être ressentis au-delà du système estuarien, varient selon les saisons (périodes de crue et d'étiage) et les conditions pluviométriques locales du moment. Au sortir des grands cours d'eau, ces courants agissent sur la dérive de l'hydrocarbure au-delà de l'estuaire, mais aussi sur sa flottabilité en raison des chutes de salinité qu'ils peuvent induire : le polluant, sub-flottant, n'est plus visible d'autant que les eaux y sont généralement turbides.

Par le jeu des courants généraux et côtiers locaux, puis des turbulences à la côte liées à la topographie du littoral, le polluant « privilégie » certains sites d'échouage, correspondant à la résultante moyenne des facteurs météo-océaniques (vent, courant, houle) prévalant dans ces secteurs.



Polluant flottant en surface

Les vents

Les vents, qui jouent un rôle primordial dans la genèse des vagues, agissent de diverses manières sur le polluant :

- ils influent sur la dérive du polluant et son évolution (ils contribuent au processus d'évaporation des parties volatiles de l'hydrocarbure) ;
- ils ont un rôle important dans la reprise de l'hydrocarbure échoué à la côte et sa dissémination ultérieure ;
- ils peuvent aussi étendre la pollution au domaine terrestre, par projection du polluant en arrière-plage, notamment sous forme d'embruns, mais aussi parfois d'amas ;
- ils peuvent cacher l'hydrocarbure échoué sur la plage par apport de sable « éolien » (phénomène pouvant amener à conclure à l'absence/disparition de la pollution).

Les cycles sédimentaires

La plage connaît des cycles naturels d'érosion et d'accrétion de sédiments. Ces phases dites d'engraissement et de démaigrissement de plage correspondent à l'activité des vagues qui sont tantôt érosives (vagues de tempêtes ou longues houles hivernales, par exemple), tantôt constructives (houles courtes pré-estivales, par exemple). Le stock sédimentaire de haut de plage, qui est à son maximum en été, migre après la belle saison vers le bas de la plage où il est à son maximum en hiver,



Haut de plage en érosion

et d'où il remonte peu à peu aux alentours du printemps. À ce cycle saisonnier se superposent des petits épisodes de mouvement sédimentaire notables, liés à des processus soudains et ponctuels d'érosion ou d'accrétion.



Haut de plage en accrétion

Le profil d'une plage peut ainsi être modifié en l'espace d'une ou deux marées, ce qui peut entraîner le recouvrement momentané de dépôts d'hydrocarbure par du sable provenant du bas de la plage ; cet hydrocarbure peut rester ainsi enfoui, durant plusieurs semaines ou mois, pour réapparaître ultérieurement lors d'une migration du stock sédimentaire vers le bas de la plage.

Les facteurs climatiques

En cas de pollution sur le littoral, en plus des processus dynamiques, il importe aussi de prendre en compte les aspects climatiques qui influent sur le comportement du polluant et les conditions de l'intervention :

La latitude ou zone climatique

Elle définit les grandes lignes du climat (le régime des vagues, des tempêtes, des précipitations, l'ensoleillement, les températures ambiantes, la durée du jour, etc.), celles de la faune et de la flore, et certains aspects sédimentaires (production, alimentation).

La température

Elle influe directement sur les caractéristiques physiques et chimiques de l'hydrocarbure. Elle peut ainsi en affecter très soudainement (à l'échelle de la journée) sa viscosité et, à terme, sa teneur en différents composants, en réduisant ou augmentant aussi l'impact potentiel physique et biologique de l'hydrocarbure.

Elle facilite, pénalise ou empêche la mise en œuvre des opérations de lutte. A des valeurs extrêmes, elle affecte lourdement les conditions de l'intervention, et donc les performances des équipes de nettoyage.

L'ensoleillement

Il favorise la dégradation des hydrocarbures, plus particulièrement le rayonnement ultra-violet (UV) qui peaufine le nettoyage en éliminant les films résiduels.

Critères de classification des littoraux

Une mosaïque de milieux divers

La configuration générale des littoraux est liée à l'histoire géologique des espaces sous-marins et continentaux qu'ils délimitent. Les caractéristiques géologiques expliquent la grande diversité des littoraux qui alternent les côtes basses avec les côtes élevées, et les côtes rectilignes avec les côtes découpées, bordées d'une avant-côte plongeante ou modérément inclinée, parfois parsemée d'îlots ou de récifs. Elles définissent en conséquence les traits structurants du littoral : baies, falaises, estuaires, presqu'îles, îles, massifs dunaires, etc.

La géologie

La géométrie générale des littoraux est très largement liée à l'histoire et aux caractéristiques géologiques des espaces sous-

marins et continentaux qu'ils bordent. Une première classification se fait entre les côtes basses sédimentaires et les côtes élevées rocheuses.

Les substrats

Le littoral est constitué de matériaux fixes (roche en place ou roche-mère, ou encore structure anthropique*) et/ou de matériaux plus ou moins meubles (sédiments). Ces substrats constituent des types de côtes spécifiques :

- Côtes rocheuses : platier, falaise, crique, grotte, etc. (auxquelles on peut associer les structures construites, portuaires ou de défense contre l'érosion : jetée, mur, quai, enrochement, épi, etc.) ;



Falaise

- Côtes sédimentaires : champs de blocs ; cordon de galets, plage de galets, grève ; vasière, marais, berge d'estuaire ; plage de sable, cordon dunaire, etc.



Platier rocheux



Champs de blocs



Plage de sable fin

Les sédiments sont classés, selon la taille de leur grain, en différentes catégories : blocs (> 500 mm) ; galets ou cailloutis anguleux (< 500 mm) ; graviers (< 25 mm) ; sables fins à grossiers (< 2 mm) ; fines ou vases (< 0,063 mm).

La nature du substrat est primordiale car elle détermine, entre autres, les possibilités et le degré de pénétration du polluant dans le sol, mais aussi la rémanence* de



Différentes tailles de sédiments

celui-ci. En outre, les modalités de l'intervention varient selon la nature des substrats.

L'exposition

Elle définit l'importance de l'énergie des vagues qui est dissipée à la côte.

Les littoraux sont ainsi classés en fonction de leur mode d'exposition, allant du mode exposé (exemple : promontoire rocheux) au mode abrité (exemple : marais). Quand cette énergie est forte, elle est, pour les surfaces dures synonyme de pilonnage, de mitraillage et, en présence de sédiments, d'abrasion ; pour les secteurs sédimentaires, elle est synonyme de brassage et remobilisation réguliers.



Marais

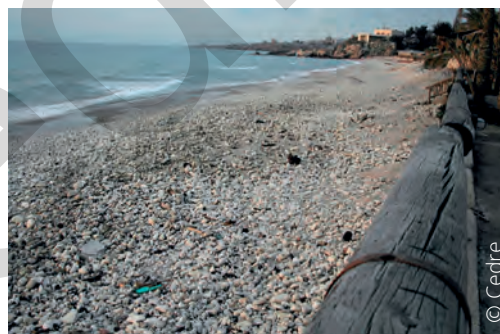


Vasière impactée

L'exposition commande la répartition des sédiments sur la plage - comme sur le littoral en général ; cette répartition est fonction de l'énergie disponible, c'est-à-dire de

la capacité de la vague à mobiliser puis déplacer les sédiments qu'elle rencontre sur l'estran*. La mer opère ainsi un tri des sédiments : les caractéristiques du sédiment devant être en adéquation avec les forces en action.

À l'échelle de la plage, l'énergie moyenne dissipée varie le long du profil de la plage ; en conséquence, la distribution des sédiments se fait généralement à des niveaux préférentiels bien marqués, le long du profil (exemple : amas de galets dans la partie haute d'une plage de sable). Sur les sites moins exposés, où l'efficacité du tri hydraulique est moindre, la plage est constituée d'un mélange de sédiments hétérogènes, de tailles diverses.



Plage de sédiment hétérogène exposée

L'exposition peut être évaluée, dans une première approche, à l'aide d'indicateurs divers d'ordre morpho-granulométrique ou d'ordre biologique :

- l'existence de dépôts vaseux (synonyme de mode abrité) ;
- la taille du grain moyen, selon le principe que plus le grain élémentaire est grossier, plus l'énergie est forte et donc la plage exposée (ce paramètre ne peut, toutefois, être significatif que si le stock sédimentaire de la plage est relativement homogène. En effet, l'homogénéité

granulométrique du sédiment, qui caractérise l'efficacité du tri exercé par les vagues, est un indicateur plus sûr d'une énergie élevée) ;

- l'usure des grains renseigne aussi parfaitement sur le type d'exposition de la plage : les formes anguleuses et ébréchées témoignent d'une très faible énergie, à l'inverse des formes émoussées et arrondies résultent d'une forte abrasion mécanique des sédiments ;
- la pente de la plage qui résulte de l'interaction taille du grain/énergie des vagues. En règle générale, plus la plage est exposée aux vagues et plus son sédiment moyen est grossier et sa pente élevée ;
- la prédominance d'espèces végétales et animales, caractéristiques de milieux battus (exemple : balanes, *Perforatus perforatus*) ou abrités (exemple : ascophylle noueux, *Ascophyllum nodosum*).

En cas de pollution, cette énergie engendre un processus de nettoyage naturel dont l'efficacité est proportionnelle à l'intensité de l'énergie reçue. La rapidité du nettoyage naturel définit le temps de séjour du polluant sur le littoral, notion encore appelée rémanence* de l'hydrocarbure.

Le système côtier

On distingue généralement trois secteurs le long du profil de la côte :

- l'avant-plage : située en-dessous du niveau atteint par les plus basses mers de vive-eau, elle n'est jamais découverte et donc relativement à l'abri d'arrivées importantes d'hydrocarbure (sauf en cas de dispersion, naturelle ou chimique, ou de coulage, naturel ou artificiel, du polluant) ;



Avant plage



Estran* en pente



Estran* plat

- l'estrans* : ou zone de balancement de la marée, est l'espace délimité par les niveaux atteints par les plus basses mers et les plus hautes mers de vive-eau. La longueur, la largeur et la pente de l'estrans* varient selon sa nature (sédimentaire et/ou rocheuse) et son exposition à la houle. C'est le lieu privilégié des échouages de toutes sortes. En cas

de pollution, les nappes ont tendance à s'y accumuler en partie haute sous l'effet conjugué des vagues, de la marée et du vent. Toutefois, dans les sites abrités, les nappes échouées peuvent affecter l'ensemble de l'estran* ;

- l'arrière-plage : bien que située au-dessus du niveau atteint par les grandes marées, l'arrière-plage peut, exceptionnellement, en cas de très forte tempête, être atteinte par la pollution (aérosols, embruns, plaques).



Pollution en arrière-plage

Selon la nature de la côte et de son exposition, la largeur respective de ces trois unités est variable.

Les relations hydrodynamiques et morpho-sédimentaires au sein de ce triplet définissent ce que l'on appelle le système de la plage, qui correspond à l'espace dans lequel les mouvements sédimentaires, longitudinaux et verticaux, même importants, s'opèrent sans remettre en question l'équilibre de l'ensemble. C'est ainsi par exemple, qu'après le retrait naturel massif de sable pouvant parfois faire « disparaître » la plage, les sédiments reviennent naturellement en haut de la plage, car ils sont restés dans le système. Ce n'est plus le cas, s'ils en sont sortis, pour avoir migré soit à des profondeurs trop importantes, soit au-delà du cadre physique de la plage -

un promontoire par exemple - vers un système voisin qu'ils alimentent dorénavant. Dans ce cas, en l'absence d'une nouvelle alimentation en sédiment, le bilan sédimentaire du système est en déséquilibre, une situation qui peut entraîner l'érosion du trait de côte.

La classification des littoraux

À partir de la distinction schématique classique des substrats littoraux tempérés, en roche, blocs, galets, sables, vase et marais, il est possible de définir plusieurs types de faciès littoraux en prenant en compte le degré d'exposition aux forces hydrodynamiques (mode battu/mode abrité). Le tableau 1 propose une telle classification. Il synthétise les principales caractéristiques environnementales (physiques et écologiques) des différents types de côtes et présente sommairement les modalités de piégeage, le devenir et l'impact potentiel du polluant.

À cette classification, basée sur les critères physiques, doit s'ajouter une classification basée sur des critères écologiques de sensibilité et de vulnérabilité. Il est vivement recommandé, à ce sujet, de consulter le Système de référence d'impact : système d'information de la Communauté pour la maîtrise et la réduction de la pollution de la Commission de l'Union Européenne (European Commission, Directorate-General for Environment, Jacques, T., O'Sullivan, A., 2004).

Mode exposé

Caractéristiques	Comportement et impact de l'hydrocarbure
Falaises et promontoires rocheux	
- falaises plongeantes à-pic ou à forte pente - zone intertidale très limitée, généralement dépourvue de sédiment - espèces végétales absentes de l'estran mais denses en zone subtidale - espèces animales réduites en nombre et en espèces sur l'estran - abritent souvent d'importantes colonies d'oiseaux	- le plus souvent maintenu à l'écart par la réflexion des vagues - rapide auto-nettoyage par l'énergie des vagues sauf, parfois, pour les dépôts de tempête situés au dessus du niveau des hautes mers - impact écologique restreint, excepté pour les oiseaux, la faune et la flore subtidale proche en cas de polluant dispersé (naturellement ou chimiquement)
Plateformes d'érosion	
- plate-forme ou terrasse issue de l'érosion marine au sens large - zone intertidale de largeur variable - arrière-côte indifféremment basse ou élevée - accumulation possible de blocs, de galets et de sédiments grossiers en haut niveau de la plage - surface pouvant être très fortement irrégulière (fissures, mares d'estran) offrant des possibilités de dépôts de sédiments fins à grossiers dans les anfractuosités - grande richesse et diversité écologiques	- n'adhère pas ou peu longtemps aux surfaces rocheuses exposées de l'estran - tend à s'accumuler en haut niveau et dans les endroits abrités de l'estran (trous, faces de rochers...) - incorporation probable avec les sédiments présents (rémanence variable) - impact variable selon richesse et selon niveaux atteints
Structures portuaires, murs de défense	
- parois dures pentues ou verticales, correspondant aux structures portuaires les plus exposées - ouvrages maçonnés généralement lisses - intérêt écologique très limité à nul	- l'hydrocarbure est généralement maintenu à l'écart par la réflexion des vagues - ne peut adhérer que sur les parties supérieures des ouvrages, au-dessus du niveau des plus hautes mers - rémanence faible - impact écologique nul à faible
Enrochements artificiels	
- enrochements constamment en eau : gros blocs rocheux, tétrapodes disposés en défense sur les jetées, les brise-lames, les terrains gagnés sur la mer ; richesse écologique très variable, de forte (crustacés) à faible - enrochements découvrant, situés en haut de plage soumise à une forte érosion ; richesse écologique nulle	- sont souvent des pièges à hydrocarbure : pénétration importante, forts risques de relargage

Mode exposé

Caractéristiques	Comportement et impact de l'hydrocarbure
Champs de blocs	
- hérissent les platiers rocheux exposés - favorisent souvent des dépôts peu épais de sédiments fins à grossiers, à l'abri de leur base - densité et diversité écologiques variables selon l'exposition	- généralement maintenu à l'écart sous l'effet des turbulences - ne peut adhérer que sur les parties supérieures des blocs et du platier (au-dessus du niveau des plus hautes mers) - rémanence faible à forte (si hors de l'atteinte par la mer) - impact écologique variable selon richesse et type d'hydrocarbure
Plages de sable fin	
- correspondent généralement à de vastes estrans découvrant largement à marée basse et très souvent bordées, côté terre, de dunes ou de murs de défense contre l'érosion - sol ferme, compact - faune en densité modérée à limitée et très variable selon la saison	- accumulation en haut niveau ou sur la quasi-totalité de la plage, selon ampleur de la pollution - pénétration limitée (*10 cm), surtout si résurgences de la nappe phréatique, mais possibilité d'enfouissement par accrétion (20 à 30 cm, et bien davantage si en début de période d'engraissement) et par sables éoliens - auto-nettoyage efficace dès les premières tempêtes - impact écologique faible à modéré, de courte durée excepté pour la végétation de haut de plage (pieds de dunes)
Plages de sables grossiers et de graviers	
- pente modérée à forte - sables très mobiles - diversité et densité écologiques restreintes	- forte pénétration possible - possible enfouissement rapide (hydrocarbure fluide) et important par engraissement sédimentaire, saisonnier ou lors de tempête ; migration potentielle progressive vers le bas de plage (lessivage lors des marées descendantes) - impact écologique faible à modéré
Plages de galets	
- en fond de criques rocheuses au pied de falaises de hauteurs variables, ou d'anses et de baies exposées en protection d'arrière-côte basse - sédiments généralement bien triés, du moins distribution localement homogène - pente forte (haut niveau) à moyenne (mi-niveau), pente proportionnelle à la taille du grain moyen - richesse variable (flore, oiseaux nicheurs en hauts niveaux)	- pénétration importante surtout au sein des sédiments les plus grossiers (50 - 60 cm, voire 1 m et plus) avec lente dégradation de l'hydrocarbure - possibilité d'enfouissement (1 m et plus) par engraissement sédimentaire en haut niveau - formation éventuelle, à terme, d'encroûtement (fioul lourd) dans les endroits abrités - rémanence relativement faible (lessivage intense) mais pouvant être élevée en cas d'enfouissement ou de pénétration importants - impact écologique limité excepté pour les hauts et très hauts niveaux

Mode abrité

	Caractéristiques	Comportement et impact de l'hydrocarbure
Falaises abritées	- falaise plongeante de type fjord ou calanque méditerranéenne - zone intertidale* très limitée et à très forte pente, - richesse écologique (subtidal et intertidal)	- dépôts en bande - persistance de l'hydrocarbure essentiellement dans la partie supérieure, non mouillée en permanence - impact variable selon les niveaux
Plateformes et platiers rocheux	- généralement parsemés, voire recouverts, de blocs et de sédiments plus fins, mal triés et très hétérogènes (allant du cailloutis à la vase) - se prolongeant coté terre par une côte rocheuse basse ou pentue, parfois par une petite falaise friable et érodée de dépôts fossiles détritiques - nombreuses crevasses, fissures et mares d'estran* - grande variété d'espèces et richesse écologique (abondance, diversité)	- dépôts sur l'ensemble de l'estran* mais l'hydrocarbure déposé sur les bas niveaux, généralement saturés en eau, est repris par les marées suivantes vers les niveaux supérieurs - pénétration verticale forte au sein des gros galets et des blocs, moindre au sein des sédiments de taille inférieure ; concerne la couche de surface constituée des sédiments les plus grossiers ; quasi imperméabilité à l'hydrocarbure en dessous grâce à la présence de sédiments fins à très fins - forte rémanence* dans les sédiments et dans les anfractuosités - impact écologique très important
Infrastructures portuaires	- correspondent aux parties abritées des ouvrages portuaires de tous types (quais, enrochements...) - pente généralement forte à modérée - surfaces lisses, rugueuses ou chaotiques - souvent colonisées par des algues	- sites d'accumulation privilégiée - se dépose à marée descendante en haut niveaux sous forme de bandes - relargage à terme - impact écologique variable selon la sensibilité des espèces affectées (dont certaines sont déjà adaptées à un milieu chroniquement pollué)
Plages de sable fin à moyen		
(a)	Estrans* sableux de faible largeur et portance bonne	- rémanence* de l'hydrocarbure moyenne à forte surtout si importants dépôts initiaux avec formation d'encroûtements en surface de la plage - possibilité d'enfouissement très limitée (sauf par sables éoliens) - dépôts possibles sur la totalité de l'estran* (polluant fluide) - pénétration a priori limitée par la présence de sédiments très fins, et la saturation en eau des sédiments, mais risques de pénétration via les terriers des animaux fouisseurs - rémanence* élevée (plusieurs mois ou années) - impact écologique modéré à fort

Mode abrité

Caractéristiques	Comportement et impact de l'hydrocarbure
Plages de sable fin à moyen	
(b) Estrans* vaso-sableux généralement très larges, éventuellement parcourus par des chenaux de marée et de portance relativement bonne à faible	- peut se déposer en divers endroits de l'estran* - mais finit par être remonté vers les hauts niveaux - infiltration impossible sur sédiment saturé en eau (excepté via les terriers des animaux fouisseurs) - impact écologique très sévère
Plages mixtes de sables fins à grossiers et de galets	
- dépôts de sédiments hétérogènes, en grande partie de provenance locale, suite à l'érosion ou au remaniement sur place de falaises friables - profil et surface irréguliers - estrans* généralement étroits ou correspondant aux niveaux supérieurs d'estrans* très larges de sédiments fins	- pénétration limitée par la présence de sédiments fins dans les espaces entre les graviers et les galets - formation d'encroûtements à terme en cas d'importants dépôts notamment en haut niveau - très forte rémanence* - fort impact écologique potentiel
Vasières	
- constituées de sédiments fins à très fins (vases, argiles) dépourvus de végétation mais en voie de colonisation à terme - sol quasi constamment gorgé d'eau - sol de très faible portance - généralement parcourues par un réseau de chenaux de marée - très grande richesse écologique (diversité, abondance)	- n'adhère pas à la vase gorgée d'eau - tend à s'accumuler en haut niveau - mélange avec la vase possible uniquement avant la sédimentation (en cas de turbidité importante ou de tempête lors de la pollution) - impact écologique pouvant être très sévère - très forte rémanence* si incorporé à la vase
Marais	
- localisés en fond de baie, à l'abri en arrière de reliefs (flèches ou cordons littoraux) sur les berges d'estuaire - espaces végétalisés avec ceintures d'espèces bien marquées selon la tolérance des végétaux en fonction de la fréquence de l'immersion et du taux de salinité - sols généralement peu portants et sensibles au piétinement (déstructuration, érosion) - généralement bordés de vasières - grande richesse (diversité et abondance) et importance écologique - grande fragilité et sensibilité	- extension variable selon le cycle de la marée - forte adhérence aux végétaux - tend à se déposer sur la strate supérieure puis à s'écouler vers la base de la plante - si fluide, peut pénétrer le substrat via les galeries et les terriers des organismes fouisseurs - impact par étouffement (hydrocarbures lourds) ou par toxicité directe (hydrocarbures légers) - impact écologique potentiellement très sévère, mais variable selon les espèces, la saison, l'hydrocarbure - très forte rémanence* en cas de pénétration dans le substrat

Tableau 1 : classification des côtes : comportement et impact de l'hydrocarbure en fonction des caractéristiques physiques des côtes

Le polluant

A2

La définition des techniques de nettoyage, le choix des équipements et le dimensionnement des chantiers dépendent étroitement des caractéristiques de la pollution.

Outre le volume déversé, plusieurs facteurs agissent sur les types d'arrivages à la côte, notamment :

- les caractéristiques du polluant : principalement sa viscosité et sa propension à adhérer aux surfaces qui dépendent de la nature du produit mais aussi de son évolution dans le milieu marin ;
- les caractéristiques du littoral : c'est-à-dire la nature du substrat, la morphologie et l'exposition du site, la présence de débris divers sur la côte, la saison ou plus exactement la période du cycle sédimentaire littoral ;
- les conditions météo-océaniques du moment, principalement l'état de la mer et la température.

La diversité de ces paramètres explique les nombreux aspects que peuvent revêtir les arrivages d'hydrocarbures à la côte et souligne l'importance de la reconnaissance et de l'évaluation de la pollution afin de définir les sites où il faut intervenir en priorité ainsi que les techniques les mieux adaptées et les moyens nécessaires pour mener à bien ces dernières.

La nature du polluant et son évolution

Les différents hydrocarbures bruts et produits raffinés correspondent à des mélanges d'hydrocarbures et de divers autres composants qui vont largement influencer sur leur comportement, leur devenir, leur impact mais aussi sur les techniques de lutte.

Une fois déversé en mer, l'hydrocarbure est soumis à différents processus qui vont entraîner des modifications de son aspect général et de ses caractéristiques physico-chimiques. Ces processus sont principalement :

- l'**étalement** qui constitue le processus le plus significatif au cours des phases initiales et qui dépend de la viscosité de

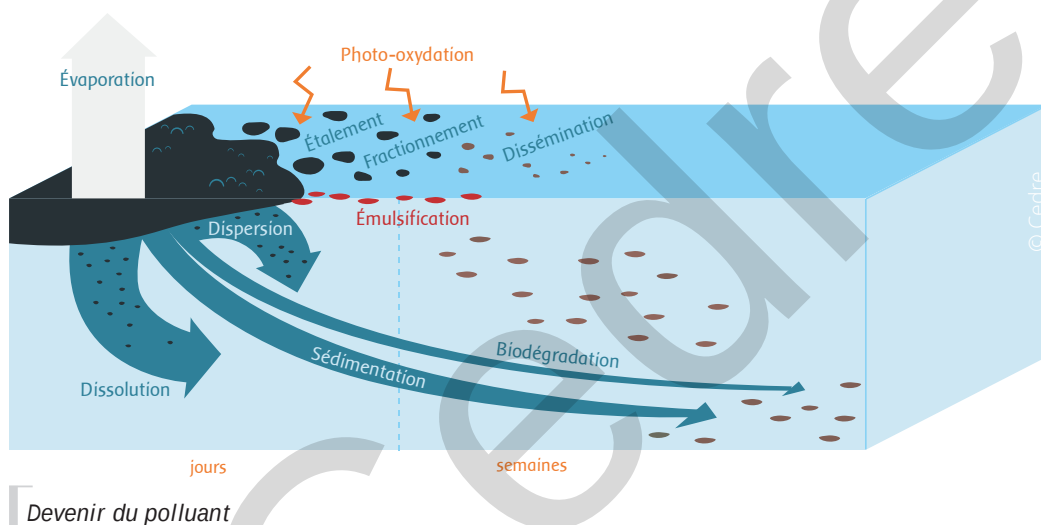
l'hydrocarbure ;

- l'**évaporation** qui, selon le type d'hydrocarbure, peut affecter la quasi-totalité ou une partie insignifiante de l'hydrocarbure déversé ;
- l'**émulsification** : l'hydrocarbure peut incorporer des microgouttelettes d'eau de mer, en quantité variable (jusqu'à 70 à 80 % de son volume initial), selon sa teneur en asphaltènes notamment ; le polluant prend alors les caractéristiques d'une « mousse au chocolat » et devient plus visqueux et plus ou moins collant ;
- la **dispersion** naturelle (tendance très variable selon les hydrocarbures) qui expose à des concentrations parfois létales les organismes de pleine eau et de fond ;

- la **dissolution** qui, concernant principalement les fractions aromatiques, les plus toxiques, peut induire un important impact écologique dans la colonne d'eau ; elle concerne en partie les mêmes fractions que l'évaporation, l'un ou l'autre de ces phénomènes devenant prépondérant selon les conditions ;

- la **sédimentation** qui est un processus de long terme qui peut entraîner une partie de l'hydrocarbure jusqu'au fond ;
- la **dégradation** naturelle de l'hydrocarbure.

Ces processus d'évolution n'interviennent pas tous au même moment, ni sur une durée équivalente, ni avec la même intensité.



La classification des hydrocarbures

La multitude des produits existants rend nécessaire une classification simplifiée des polluants pétroliers en un nombre limité de catégories. La classification proposée, en quatre classes (hydrocarbures très volatils, hydrocarbures légers, hydrocarbures moyens, hydrocarbures lourds) repose sur des caractéristiques du polluant ayant une

influence notable sur les stratégies et techniques de lutte, à savoir principalement la viscosité et la propension à adhérer aux surfaces.

Le devenir et les effets des hydrocarbures varient selon leur nature et leur évolution en mer. Le tableau 2 propose une classification des hydrocarbures en fonction de leur comportement et leur impact sur la côte.

Comportement	Impact
Hydrocarbures très volatils (kérosène, essence, distillats)	
- faible viscosité - évaporation complète en 1 ou 2 jours, voire moins - étalement très rapide - tendance à la dispersion naturelle	- fort pouvoir de pénétration/infiltration des substrats - très forte toxicité dans colonne d'eau et sur estran* (très forte teneur en fractions aromatiques solubles)
Hydrocarbures légers (gazole, fioul domestique, diesel marine, biodiesels, brut léger)	
- viscosité faible à moyenne - évaporation relativement rapide, pouvant concerner les 2/3 du volume initial au bout de quelques jours - étalement rapide - solubilité modérée	- pouvoir de pénétration variable - forte rémanence* - toxicité variable selon la teneur en fractions aromatiques solubles mais pouvant être forte à très forte - effets chroniques possibles à long terme
Hydrocarbures moyens (la plupart des bruts, huile légère de lubrification, résidus raffinés)	
- viscosité moyenne à forte - évaporation modérée (1/3 en 24h) - étalement modéré - solubilité faible - forte tendance à former des émulsions stables (« mousse au chocolat ») - tendance à couler après vieillissement ou adhérence sur fines particules	- pouvoir de pénétration des substrats variable selon la porosité et la granulométrie - très forte rémanence* - fort impact (toxicité directe, engluage, étouffement) - effets chroniques possibles
Hydrocarbures lourds (brut lourd, fioul lourd, résidu lourd, émulsion vieilles)	
- viscosité forte à très forte - évaporation très faible à nulle - étalement faible à très faible - solubilité très faible - émulsification potentielle - altération très lente - refluidification possible au soleil	- importantes accumulations sur estran* - rémanence* forte à très forte dans les hauts niveaux de l'estran* - fort impact (étouffement, engluage) mais faible toxicité, voire nulle, pour les produits semi-solides
VLSFO/ULSFO (Very/Ultra Low Sulfur Oil – Fioul de soute à très basse teneur en soufre)	
- viscosité moyenne à très forte - évaporation faible à nulle - étalement modéré à très faible - solubilité faible à très faible - émulsification potentielle - altération très lente - refluidification possible au soleil	- pouvoir de pénétration des substrats variable selon la viscosité - rémanence* forte à très forte dans les hauts niveaux de l'estran* - fort impact (étouffement, engluage) mais faible toxicité, voire nulle, pour les produits semi-solides

Tableau 2 : classification des hydrocarbures en fonction de leur comportement et de leur impact sur la côte

Les types d'arrivages à la côte

Le polluant arrive sous diverses formes à la côte ; celles-ci peuvent être classées de la manière suivante :

- les **arrivages massifs** qui se présentent en nappes homogènes d'épaisseur notable (de plusieurs mm à plusieurs cm) ou répandus sur une étendue importante (plusieurs centaines de m²) de façon plus ou moins continue ; sur les surfaces dures verticales, ces dépôts revêtent l'aspect d'une bande horizontale.
- les **arrivages diffus** qui peuvent revêtir différents aspects au sein de deux catégories selon qu'ils se présentent :
 - déposés en surface sous forme de :
 - plaques de plusieurs millimètres d'épaisseur et de diamètre supérieur au mètre ;
 - galettes au diamètre inférieur au mètre ;
 - boulettes au diamètre inférieur à 10 cm ;
 - festons ou zébrures d'hydrocarbures correspondant à de faibles quantités de pétrole déposées en laisse de haute mer lors du retrait de la vague ;
 - écume ou mousse aérée brunâtre déposée sur les estrans* très fortement exposés, résultat d'un intense brassage, par les vagues, d'irisations plus ou moins fortes poussées à la côte. Cette écume ne représente qu'une très faible quantité de pétrole) ;
 - taches, souillures ou mouchetis à la suite de projections de pétrole sur des surfaces dures ;
 - irisations (sur l'eau) ou film gras sur l'estran*.

- pénétrés dans le substrat (ou naturellement enfouis) sous forme de :
 - couche de sédiments pollués, soit en surface, soit recouverte de sédiments propres, et dont l'épaisseur peut varier de quelques cm à quelques dizaines de centimètres ;
 - feuilleté composé, sur une profondeur variable, de couches d'épaisseur notable (0,5 à plus de 10 cm) d'hydrocarbures ou de sable pollué alternant avec des couches de sable propre.

En outre, le polluant peut aussi se déposer sur les débris divers, naturels et anthropiques* (macrodéchets) ou se piéger dans des échouages massifs de végétaux (algues, zostères, posidonies).

Reconnaissance de la pollution

Il s'agit d'une étape importante de l'intervention puisqu'elle permet d'évaluer, de manière relativement précise, l'ampleur de la pollution et, ensuite, de répartir et doser, de manière rationnelle, l'effort de la réponse.

Il convient en conséquence de fournir assez rapidement le maximum d'informations pertinentes répondant à ces deux objectifs. Pour ce faire, il est fortement recommandé de former les observateurs afin de permettre une restitution formatée des observations de terrain (formulaires en version numérique ou papier) et homogène des comptes rendus, en limitant autant que possible les rapports subjectifs trop imprécis et donc non fiables.

POUR EN SAVOIR PLUS

Les procédures de la reconnaissance sont détaillées dans un guide spécifique rédigé par le Cedre :

Guide « Reconnaissance de sites pollués par des hydrocarbures »

L'intervention

L'intervention sur le littoral comporte plusieurs actions :

- les mesures préalables prises avant l'arrivée de la pollution afin de limiter l'extension de la pollution en assurant notamment la protection de certains sites sensibles (en plus de la pose de barrages flottants) et de réduire les impacts notamment terrestres liés à l'intervention elle-même ;
- le nettoyage des sites à proprement parler ;
- la gestion des chantiers incluant les mesures de sécurité des personnes, de sécurisation des chantiers, d'organisation et de suivi des opérations, y compris la gestion immédiate des déchets récupérés (leur évacuation et leur entreposage en haut de la plage ou à proximité immédiate).

L'intervention sur le littoral consiste donc en une séquence d'opérations étroitement liées qu'il s'agit de rendre compatibles. L'ensemble de ces opérations définissent la notion de chantier ; seule une parfaite organisation de ces différentes opérations assure l'efficacité du chantier.

Les phases du nettoyage

En cas de forte pollution, le nettoyage commence par les opérations de phase 1 ou ramassage grossier et se poursuit par celles de phase 2 ou nettoyage fin.

Le ramassage grossier (phase 1)

L'enjeu de cette première phase du nettoyage est de retirer, en priorité et le plus rapidement possible, les grosses accumulations de polluant et de matériaux divers fortement souillés (débris flottants, algues, etc.). Le but recherché est double :

- limiter l'extension de la pollution, en prévenant autant que possible les risques de reprise, par la mer ou par le vent, du polluant échoué et ,
- limiter l'impact écologique, en réduisant la durée de contact du polluant avec le milieu, mais aussi évidemment en recourant aux techniques les moins préjudiciables à l'environnement.

Le nettoyage fin (phase 2)

Le nettoyage fin répond à la nécessité de rendre aux sites leurs usages antérieurs et de permettre au milieu affecté de retrouver à terme un fonctionnement écologique normal. Le nettoyage fin ne doit être entrepris qu'après le ramassage grossier des accumulations de polluant, et une fois que toute menace de nouveaux arrivages conséquents est écartée. Il s'agit de mettre en œuvre des techniques plus ou moins sophistiquées pour retirer le polluant résiduel qui nuit soit à l'usage économique ou de loisirs, soit à la fonction écologique ou paysagère des sites affectés.

Le choix des techniques

Chaque pollution est un cas particulier et il n'existe pas de technique miracle ni universelle. En revanche il existe des principes de base de nettoyage qu'il convient

d'adapter selon la situation et son évolution.

Il existe une panoplie de techniques à la disposition des intervenants pour réaliser chacune des deux phases. Elles diffèrent selon :

- **les caractéristiques de la pollution** : son ampleur (volume), son caractère diffus ou concentré dans l'espace ou dans le temps, la nature du polluant (viscosité, adhérence, persistance) et les types de dépôts (nappes, boulettes, hydrocarbure enfoui, etc.) ;
- **les caractéristiques du site** : son accessibilité, son exposition, la nature de ses substrats, la présence de débris, etc.

Dans certains cas, le nettoyage nécessite la mise en place de chantiers techniques requérant des moyens et des connaissances spécifiques ; il est préférable sur les plans de l'efficacité, de la sécurité, mais aussi éventuellement de la préservation de l'environnement, de recourir à des sociétés spécialisées de nettoyage.

Pour des raisons de similitude en termes de sensibilité environnementale, de modalités de piégeage des polluants et de techniques de nettoyage à y mettre en œuvre, il est d'usage de regrouper les différents types de côtes en 3 catégories principales correspondant en fait à la nature du substrat dominant :

- les plages sédimentaires (de sables et de galets),
- les surfaces dures cohérentes (rochers, blocs, et infrastructures portuaires ou de défense contre l'érosion),
- les espaces intertidaux colonisés, ou en voie de l'être, par une végétation de plantes supérieures (vasières, marais et berges d'estuaire).

L'organisation de la réponse

Les responsables doivent avoir, en permanence, une **vue générale de la situation** concernant l'évolution du polluant (viscosité, vieillissement), de la pollution (extension, relargage, nouveaux arrivages), des conditions météo-océaniques et, évidemment, des chantiers de nettoyage (moyens et logistique requis et disponibles). Ceci leur permet de (re)définir les priorités d'intervention et de veiller à l'adéquation des techniques à mettre en œuvre en fonction des moyens disponibles dans les délais impartis.



Chantier de nettoyage

La **qualité de la réponse** dépend :

- de l'organisation mise en place et préalablement planifiée ;
- des moyens disponibles ;
- des personnes impliquées, aux différents échelons, sur le plan décisionnel (autorités) comme sur le terrain (expertise, encadrement, et exécution). La réponse sera d'autant plus efficace que les bonnes personnes avec le bon équipement seront au bon endroit au bon moment. Tout ceci suppose de la formation, de l'expérience, mais aussi un sens de l'anticipation, de l'initiative et de l'adaptation. Avec le même équipement, deux équipes peuvent obtenir des résultats très différents ;

- des conditions de travail des équipes.

La **santé et la sécurité des équipes** d'intervention doit être prioritaire. Les risques pour la santé relatifs à la toxicité du polluant, à des températures extrêmes, à des conditions météorologiques pénibles, à une évolution en milieu périlleux (en hauteur ou à proximité de l'eau) ou à certains moyens déployés, doivent être évalués en permanence. La fourniture d'équipements de protection individuels adaptés aux conditions d'exposition à ces risques doit être assurée. Les meilleures conditions d'hygiène et de santé, adaptées à l'environnement du chantier, doivent être assurées (repas équilibrés, eau potable, boissons chaudes ; aire de décontamination ; pauses, abris et toilettes en zone propre, etc.).

L'impact potentiel de l'intervention

L'intervention peut causer un préjudice environnemental plus important que la présence de l'hydrocarbure elle-même. L'**impact des techniques de nettoyage** doit donc être aussi faible que possible (et surtout inférieur à celui de l'hydrocarbure seul).

Dans certains sites écologiquement sensibles, il est parfois préférable de « **ne rien faire** » et de laisser la nature faire le travail de nettoyage : tel est le cas par exemple, pour une légère pollution sur un marais. Il en est de même pour certains sites exposés aux vagues qui ne seraient que très faiblement souillés, notamment en période hivernale.

Si, en raison d'un mauvais choix ou d'une mauvaise expertise, une opération de nettoyage est mal adaptée aux caractéristiques de la pollution ou du site, ou si elle est mal mise en œuvre, elle peut induire

des effets néfastes sur l'environnement. Il importe donc que les chantiers soient définis par des experts techniques et environnementaux.

En outre, en vue de limiter le transfert de pollution au domaine terrestre et d'y prévenir au maximum les dégradations supplémentaires, il importe de prendre, en plus des précautions de mise en œuvre propres à certaines techniques, des dispositions particulières sur les lieux d'installation des chantiers, les sites d'entreposage, les accès et les cheminements, en matière de choix (absence de plantes rares ou protégées) et de protection (étanchéité, canalisation, site de décontamination, etc.).

L'arrêt des opérations : jusqu'où nettoyer ?

La **qualité du nettoyage** requise est principalement fonction de la sensibilité écologique du site et de son usage socio-économique (industrie, activités de pêche, aquaculture, tourisme, loisirs, nature, etc.). Ces deux aspects, qui commandent aussi les priorités, voire la nécessité de nettoyage, fluctuent énormément au gré des saisons.

Dorénavant, tout le monde s'entend sur la nécessité qu'il y a, en cas de pollution, de s'interroger en premier lieu sur l'opportunité d'intervenir, donc de bien évaluer les avantages et les inconvénients de toute stratégie et technique éventuellement disponible et de considérer le nettoyage naturel comme une technique potentielle.

En cas de pollution majeure à moyenne, il y a un minimum à faire, qui est de retirer, chaque fois et partout où cela est techniquement et écologiquement possible et économiquement acceptable. Celui-ci, flottant ou déposé, demeure par son caractère mobilisable une source potentielle évidente de (re)contamination, et

présente donc un risque pour l'environnement au sens large. Moins ce risque sera jugé important (ou au fur et à mesure qu'il diminuera), plus on devra s'interroger sur l'intérêt d'intervenir (ou de continuer l'intervention).

Il ne s'agit pas de vouloir retirer toute trace d'hydrocarbure mais d'avoir pour souci principal de fournir au milieu les conditions les plus favorables pour recouvrer, à terme, un fonctionnement normal tout en permettant le retour des activités socio-économiques locales. Ceci signifie qu'il pourra rester en fin de nettoyage du polluant, mais en une teneur telle qu'il ne gênera plus le fonctionnement ou le rétablissement du biotope, ni les usages socio-économiques du site.

La connaissance des techniques de lutte en termes d'efficacité et d'impact écologique potentiel (physique, biologique) à l'égard du milieu est primordiale.

Le processus de décision

La réponse à un accident doit chercher à concilier les impératifs écologiques et les impératifs socio-économiques mais les intérêts sont souvent divergents et sources de conflit. Les différents acteurs doivent en conséquence accepter le fait que, le plus souvent, la réponse optimale ne pourra pas éviter tous les désavantages.

Faut-il nettoyer ? Faut-il arrêter ? Sur ces points, les avis ont évidemment tendance à diverger selon qu'il s'agit du pollueur, de l'assureur, des victimes, de politiques, de scientifiques, d'écologistes, des médias, du public, etc. En fait, il apparaît que la solution réside le plus souvent dans la recherche d'un consensus entre les différents intervenants pour s'entendre sur ce qui, d'une part, est acceptable en termes de pollution d'un point de vue écologique,

économique et politique, et ce qui, d'autre part, est réalisable en termes de nettoyage sur le plan technique, financier et écologique.

D'où la nécessité de mettre en place une organisation permettant de prendre en considération l'ensemble des avis et des inquiétudes des personnes et organisations affectées par le déversement, notamment à travers :

- la **recherche de la meilleure technologie disponible** en s'inspirant de l'expérience et de la connaissance technique et scientifique ;
- la **mise en place de commissions de conseil, d'évaluation, de contrôle** : les unes, techniques, proposent des recommandations techniques d'intervention, assurent le suivi de la pollution et le contrôle de l'application des décisions. Les autres, plus locales et politiques, valident les décisions des premiers notamment quant à l'atteinte des objectifs convenus ;
- des **procédures de reconnaissance, de suivi et de contrôle**.



Visite de chantier

Quand les objectifs et les limites de l'intervention ont été fixés, les techniques de nettoyage définies et acceptées et la sécurité des intervenants garantie, alors les opérations de nettoyage peuvent commencer.

Cedre

Les techniques : ce qu'il faut faire

- Techniques de protection du littoral (autres que par barrages flottants) ————— B1
- Phase 1 : le ramassage grossier ————— B2
- Phase 2 : le nettoyage fin ————— B3

B

Techniques de protection du littoral (autres que par barrages flottants)

Quand les circonstances et les délais le permettent, certaines mesures doivent être prises avant l'arrivée de la pollution à la côte, en vue de faciliter les opérations ultérieures de nettoyage du littoral et d'en limiter l'impact.

Il s'agit de toutes les techniques de protection autres que les barrages flottants* qui vont permettre de :

- limiter l'extension de la pollution, grâce à la mise en place de dispositifs divers :
- protéger des chenaux et étiers : filets droits, barrières filtrantes, obturation par barrière de terre busée ou pas, ou de sable conditionné en big bags ;
- capter dans l'eau sur l'estran* (filets capteurs, écheveaux sur corde flottante) par exemple ;
- emballer le substrat (tapis de rive) ;
- réduire les volumes de déchets, par le ramassage des macrodéchets et des échouages naturels divers (algues, posidonies, zostères) ou du moins leur retrait au-delà de l'atteinte par la mer.

B1

POUR EN SAVOIR PLUS

*Pour les techniques de protection par barrages flottants :
Guide « les barrages antipollution manufacturés »

La protection des chenaux et étiers

La fermeture **des chenaux et étiers à l'aide de barrages** flottants est généralement illusoire en raison des forts courants qui les balaient. Mais en cas de pollution par des polluants visqueux, certains dispositifs peuvent être envisagés en travers de ces chenaux afin d'empêcher ou au moins limiter la pollution amont.

Les moyens mis en place varient selon la taille des chenaux ; il s'agit notamment :

- de filets droits lestés ou de géotextiles filtrants verticaux pour les chenaux de

petites tailles ► Fiche P 01

- de barrières improvisées filtrantes pour les chenaux plus importants, d'une efficacité assujettie à une maintenance permanente et d'une durée de vie limitée ► Fiche P 01
- de barrages de terre et matériaux divers, plus efficaces mais plus complexes et coûteux à mettre en œuvre ► Fiche P 02
- d'unités de filtration à hauteur des prises d'eau pour l'alimentation des bassins salicoles ou aquacoles, par exemple ► Fiche P 03

L'efficacité du dispositif de protection repose généralement sur la succession de

Les mentions « ► Fiche XX » de la présente partie renvoie aux fiches descriptives des techniques figurant dans la troisième partie du guide

certaines de ces systèmes édifiés en différents points du chenal et à différentes hauteurs de la colonne d'eau.

Ces dispositifs supposent une maintenance importante (tenue du dispositif et relevage du polluant et des matériaux souillés).



Barrage filtrant

Les unités de filtration

► Fiche P 03

Des systèmes sophistiqués peuvent être conçus, dimensionnés et adaptés aux caractéristiques de la prise d'eau (dimension, débit) et de la qualité de filtration requise en fonction de la sensibilité de l'exploitation (bassin ostréicole, salicole, ou aquacole).

Le dispositif de base pour une prise d'eau individuelle de 20 à 50 cm de diamètre est une cartouche filtrante qui consiste en une enveloppe grillagée (métallique ou plastique) permettant le dimensionnement à la taille et à la forme de la prise d'eau. Cette enveloppe est remplie de matériaux présentant une qualité de filtration et d'absorption adaptées aux risques (paille, coquilles d'huîtres concassées ou absorbants polypropylène). Pour éviter le colmatage de l'unité de filtration (macrodéchets, algues, etc.), il convient de disposer un filet en avant de la prise d'eau.

Le captage du polluant en eau à hauteur de la plage

Le piégeage dans la colonne d'eau de polluant flottant ou sub-flottant avant qu'il ne s'échoue peut être réalisé à l'aide de filets à mailles fines fixés en drapeau sur l'estran*.

Les **filets de captage** dits aussi « filets serpillière » ► Fiche P 04 correspondent à des filets à mailles fines – de faible coût (filet d'échafaudage, filet anti-grêle ou à pomme de terre) - fixés en torche sur l'estran* en vue de capter les amas de produits visqueux dérivant à marée haute. Ce dispositif de récupération a été mis au point lors de l'accident de l'*Erika*, en complément aux opérations de *surfwashing** (cf. ramassage grossier ► Fiche N 10).

L'expérience de l'*Erika* a montré que ce dispositif est performant dans le cadre d'une opération de courte durée (quelques marées) en curatif (*surfwashing**) ou en préventif (sur un site venant d'être nettoyé, en vue de capter les éventuelles boulettes provenant d'autres sites encore souillés). Dans ces conditions (durée courte et espace retreint), il est aisé de bien localiser les filets en fonction des caractéristiques marégraphiques du moment et d'en assurer la maintenance nécessaire : renouvellement des filets souillés, repositionnement en fonction de la marée, vérification de la solidité des attaches, etc.

L'expérience du *Prestige*, par contre, a montré que la technique ne convient pas en tant que dispositif de protection de longue durée (du moins en mer à marée) dès lors qu'il est envisagé à une vaste échelle, et encore moins si la pollution est très diffuse et son arrivée aléatoire. En protection, cette technique est à utiliser en priorité sur les petites plages ou

criques peu accessibles aux engins, ou sur plages particulièrement défavorables au criblage (exemple : pourvues de débris coquilliers ou de galets en haut niveau). Sur les grands sites dunaires, ils ne doivent être posés que dans les secteurs d'accumulation (épi par exemple). Sur un littoral microtidal* (sans marée ou très faible marnage), deux techniques peuvent être mises en œuvre : des filets de captage, plus courts et fixés sur une corde flottante positionnée à quelques mètres du bord, ou, comme pratiqué durant l'accident de *Deepwater Horizon* (2010), une corde flottante équipée d'écheveaux absorbants maintenue en bordure d'eau, à l'aide de piquets.



Captage par filet serpillaire

La protection du haut de plage par tapis de rive

► Fiche P 05

La protection de la partie haute d'un site (plage, crique, enrochement ou quai) peut être momentanément envisagée par emballage ou recouvrement d'une bâche plastique ou géotextile. L'hydrocarbure venant s'y déposer y est ainsi raclé ou est prélevé ultérieurement avec la protection. Sur plage, ce procédé concerne en premier lieu les côtes de types mésotidal* et microtidal*. Sur quai, elle trouve surtout son utilité dans les sites à risques pétroliers (quais, terminaux, etc.).

Il s'agit d'une protection temporaire dont l'efficacité repose sur la mise en place d'une maintenance continue (contrôle des fixations et de l'étanchéité, remplacement des portions déchirées, etc.).

Cette technique peut aussi être momentanément mise en œuvre sur un site nettoyé (enrochements en haut niveau, par exemple), en cas de menace de nouveaux arrivages.

Le ramassage des macrodéchets et des échouages naturels

Le ramassage avant l'arrivée de la pollution des macrodéchets et des échouages naturels qui jonchent les plages est à envisager d'autant plus que leur volume est important. Le but de cette opération est de limiter les volumes de matériaux souillés à retirer ultérieurement et de faciliter les opérations de ramassage grossier. Selon l'ampleur des échouages, ce ramassage est réalisé soit manuellement avec un soutien mécanisé pour l'évacuation des déchets, soit mécaniquement à l'aide d'engins de travaux publics pourvus de fourches ou de pinces (notamment pour les monstres de type tronc d'arbre, bille de bois) ou de godets ajourés ou à l'aide d'engins spécifiques de type ratisseuse, râteau goémonier, cribleuse*, etc.

Ce ramassage doit évidemment être aussi sélectif (sans retrait de sable) et méthodique que possible de façon à respecter des filières distinctes de recyclage ou de valorisation éventuelle (bois, plastique, verre, algues). Les échouages naturels peuvent parfois, si le site le permet, n'être simplement que remontés en très haut niveau de la plage de façon à y être mis momentanément hors de l'atteinte par la pollution, et être ultérieurement redescendus sur l'estran*.

Phase 1 : le nettoyage grossier

Différentes techniques permettent la récupération grossière du polluant, qu'il flotte encore en bordure d'eau ou qu'il soit échoué sur le littoral. Les principales, en fréquence d'utilisation et en volume retiré, sont les suivantes :

- le pompage, direct ou par écrémage, à partir du littoral, de nappes et plaques flottantes ou échouées, à l'aide de récupérateurs, de pompes et d'aspirateurs ;
- le ramassage mécanique sur la plage, à l'aide de moyens conventionnels (engins de travaux publics) mais aussi de moyens spécifiques ;
- le ramassage manuel.

D'autres, de rendement moindre, participent à cette phase de collecte grossière du polluant, notamment le délogement d'amas de polluant piégés, soit à l'aide de jets d'eau à basse pression (ou *flushing**), soit par la descente de galets fortement englués dans la zone de déferlement des vagues (ou *surfwashing**).

Sur l'eau, la récupération du polluant se fait le plus souvent à l'aide d'équipements spécialisés de type récupérateur d'hydrocarbures. Il en va généralement différemment de la récupération à même la plage qui est la plupart du temps menée à l'aide d'engins traditionnels couramment utilisés dans des domaines autres que celui des pollutions pétrolières accidentelles, tels les travaux publics, l'agriculture ou encore l'assainissement.

Quelques rares équipements spécifiques ont toutefois été adaptés ou développés dans le but de disposer d'engins offrant de bonnes performances de sélectivité en même temps qu'un fort rendement de collecte.

Enfin, le ramassage manuel qui reste incontournable quel que soit l'ampleur ou le type de pollution et peut être le seul recours envisageable en certains sites difficiles d'accès ou écologiquement sensible.

L'écrémage, le pompage et l'aspiration

Ecrémage*, pompage et aspiration constituent la réponse majeure à apporter en cas de marée noire par un polluant fluide

► Fiches N 02 et 03

Ces techniques font appel à des moyens utilisés généralement dans les secteurs de l'agriculture, de l'assainissement ou des travaux publics. Des équipements spécifiques existent cependant.



Camion citerne hydrocureur

Ces opérations englobent à la fois la collecte proprement dite du polluant et le transfert des produits collectés, via une cuve intégrée ou une ligne de refoulement, vers un entreposage primaire situé en haut de plage ou à proximité immédiate.

Le pompage n'est pas toujours possible. Différents facteurs en déterminent la faisabilité ainsi que les moyens et modalités requis :

- la **nature du polluant**, principalement sa viscosité : un produit fluide est pompable, un produit visqueux l'est nettement moins, voire pas du tout ;
- l'**agitation** du plan d'eau qui pénalise les rendements, la sélectivité et empêche souvent la mise en œuvre du matériel ;
- l'**importance des accumulations** de polluant, et plus particulièrement son épaisseur. Plus la nappe est épaisse et plus la collecte est efficace car sélective. Il faut en conséquence chercher à confiner et rabattre le polluant vers les têtes d'aspiration. Plusieurs techniques permettent d'y parvenir tant en bordure d'eau (à l'aide d'un barrage léger de chantier et des jets d'eau par exemple) que sur l'estran* (par raclage vers un point de collecte ou à l'aide de jets d'eau par exemple) ;
- la **présence de débris solides** qui peuvent entraver l'alimentation des pompes voire détériorer celles-ci ;
- la **morphologie du site**, par les contraintes de hauteur qu'elle peut impliquer ou simplement les possibilités qu'elle offre en termes d'accès, de mise en œuvre, ou de déplacement ;
- les **capacités d'entreposage** qu'il est possible d'amener ou de créer (fosses, etc.) en proximité immédiate.

Différents moyens peuvent être utilisés, selon que le polluant flotte en pleine eau ou en bordure immédiate de la plage, ou qu'il est échoué.

Les récupérateurs

Il s'agit de dispositifs spécifiques conçus pour écrémer le polluant à la surface de l'eau, comprenant une tête flottante d'écumage (l'écumeur, souvent appelé récupérateur) et une pompe.

Il existe différents types de récupérateurs, classés en deux grandes catégories selon leur principe de fonctionnement : les récupérateurs mécaniques et les récupérateurs oléophiles*. Les premiers moins sélectifs sont plus aptes à travailler sur des polluants visqueux que les seconds, plus performants sur des polluants fluides. Plus sélectifs, les oléophiles* permettent des entreposages de capacités plus faibles que les appareils mécaniques qui ont en outre des débits supérieurs.



Récupérateur et pompe intégrée lors d'essais réalisés au Cedre

Les pompes

Elles sont soit intégrées dans le récupérateur soit associées à ce dernier. Elles peuvent aussi être utilisées avec une simple tête flottante d'aspiration voire un simple embout de type 'queue de carpe'.

Elles fonctionnent selon divers principes

permettant, selon le type, d'opérer sur des produits pétroliers fluides dépourvus de solides ou, à l'inverse, des polluants très visqueux éventuellement chargés de solides (sédiments, débris de quelques centimètres de diamètre, algues). Sur le littoral, les types les plus couramment utilisés sont les pompes à vis, les pompes à lobes, les pompes péristaltiques, les pompes à rotor excentré (principe Moineau). Les pompes sont alimentées par un groupe d'énergie thermique, hydraulique ou pneumatique conditionné pour permettre une certaine mobilité. Sur la plage, le montage d'une pompe sur la prise de force d'un tracteur équipé d'un 'trois-points' augmente la mobilité du dispositif de récupération.

Les systèmes à vide



Aspiration dans la nappe

Ces équipements fonctionnent par aspiration grâce à la dépression créée dans la cuve de réception.

L'extrémité du flexible d'aspiration est plongée dans le liquide à pomper. De façon à être sélectif, l'embout d'aspiration doit être maintenu immergé juste à la surface du polluant : s'il est trop enfoncé, il n'aspire que de l'eau ; s'il ne l'est pas suffisamment, il risque de "pomper" beaucoup d'air et de "casser" à terme le vide.

C'est pourquoi ces engins ne doivent être utilisés que sur des nappes suffisamment épaisses (confinement et gavage à rechercher) et qu'il est fortement conseillé de connecter une tête flottante d'aspiration et d'équiper la tonne d'une valve à contrôle manuel.

- **Les systèmes à vide conventionnels.** Ces systèmes qui proviennent du secteur de l'agriculture ou de l'assainissement sont souvent utilisés. Ainsi pendant l'*Amoco Cadiz*, des centaines de tonnes agricoles opérèrent sur les plages bretonnes. Moins rustiques et moins mobiles sur les plages, des camions d'assainissement à vide interviennent aussi parfois.

- ✓ autonomie et multifonctionnalité : permet le pompage, l'entreposage, la décantation et le transfert ;
- ✓ très grande disponibilité : mobilisation rapide des camions et, à un degré moindre selon les régions, des engins agricoles (surtout en région d'élevages porcin ou bovin) ;
- ✓ débit d'aspiration important, hauteur moyenne d'aspiration de 5 à 6 m ;
- ✓ tolérance aux débris solides de faibles dimensions (veiller cependant, en présence de produits visqueux ou à forte teneur en solides, à disposer de tonnes ouvrantes afin de pouvoir les vider) ;
- ✓ pas ou peu d'augmentation de l'émulsification du polluant ;
- ✓ possibilité d'adapter une injection de désémulsifiant* ;
- ✓ possibilité de séparation primaire (évacuation de l'eau libre sur site dans un barrage par exemple après quelques minutes de décantation).

- ❌ emploi limité aux sites accessibles aux tracteurs agricoles ; accès encore beaucoup plus limité pour les camions ;
 - ❌ rendement réduit par les temps morts nécessaires à la décantation et au rejet de l'eau ;
 - ❌ remise en pression optimale de fonctionnement lente quand beaucoup d'air est entré dans le système ;
 - ❌ sélectivité faible (part importante d'eau prélevée avec le polluant) hors mode écrémage ;
 - ❌ maniement difficile de la manche d'aspiration (rigide, lourde) surtout une fois souillée.
- **Les unités spécifiques à vide.** Différents types ont été développés pour l'antipollution : des tonnes à vide montées sur châssis, roulant ou pas, généralement équipées d'une tête d'aspiration flottante (sélectivité) et d'une pompe de transfert pour refouler le produit pompé. Relativement lourdes, leur utilisation reste généralement limitée à certains sites accessibles et portants (de type quai).

Les systèmes à transport pneumatique

Le principe de fonctionnement des systèmes à transport pneumatique repose davantage sur la création d'un flux d'air à très gros débit et à haute vitesse que sur le vide. Ce flux d'air aspirant est créé par une centrale d'aspiration. La dépression amorce l'aspiration mais c'est le flux qui permet d'entraîner l'hydrocarbure, l'eau et les débris et de les transporter jusqu'à la citerne de réception du système.

- **les engins conventionnels à transport pneumatique.** Sur ces engins, de type camion d'assainissement ou de net-

toyage industriel, la manche d'aspiration a un diamètre suffisamment large (de 125 à 300 mm) pour qu'il soit quasiment impossible que les produits pompés l'obstruent. Le flux d'air doit exister en permanence pour que le système marche ; aussi la manche d'aspiration doit-elle être constamment maintenue légèrement au-dessus du produit à aspirer, et ne jamais être immergée de façon à toujours permettre à l'air de pénétrer dans la manche.



Aspiration directe et décantation dans le camion d'assainissement

- ✅ bonne efficacité sur les hydrocarbures de toutes viscosités (le prélèvement simultané d'eau semble nécessaire pour les produits fortement visqueux) ;
- ✅ tolérance de quasiment tous types de débris ;
- ✅ pas ou peu d'augmentation de l'émulsification du produit ;
- ✅ hauteur d'aspiration supérieure à tout autre système d'aspiration (supérieure à 10 mètres) ; certaines unités utilisées pour le nettoyage de fonds de cale de navire ont une hauteur d'aspiration de 25m ;
- ✅ autonomie et multifonctionnalité : permet le pompage, l'entreposage, la décantation et le transfert ;

- ✓ éventuelle séparation primaire par décantation.
 - ✗ engin lourd, encombrant, peu manœuvrant et nécessitant un sol portant (camion) ;
 - ✗ faible sélectivité ;
 - ✗ difficilement réparable sur site.
- **Les systèmes spécifiques à transport pneumatique.** Ces systèmes sont de plus en plus utilisés sur le littoral car notamment bien adaptés pour la récupération de fioul et de sédiments souillés entre les blocs et enrochements. Il s'agit soit de petits aspirateurs industriels, très puissants mais qui requièrent un compresseur pneumatique de grande capacité limitant leur amenée sur certains sites littoraux, soit de systèmes moins puissants se présentant sous la forme de petites unités mobiles qui comprennent :
 - une centrale d'aspiration ;
 - une tête cyclonique montée sur une cuve de réception (un fût interchangeable de 200 l ou, plus commodément, de 50 l) ou sur une trémie cylindrique pourvue d'une tôle de vidange à sa base et montée sur trépied pour surmonter un bac de réception ;
 - un flexible d'aspiration équipé d'une buse d'aspiration.



Système d'aspiration par le vide à double fûts

- ✓ récupération sélective d'hydrocarbure et de déchets souillés échoués sur le littoral ;
- ✓ intervention possible sur des sites difficiles d'accès et de circulation (attention cependant aux poids et encombrement du groupe motopompe ou compresseur et à la limitation en longueur de tuyaux) ;
- ✓ pas d'augmentation de l'émulsification du polluant ;
- ✓ tous types de viscosité.
- ✗ débit faible pour la plupart (arrêts fréquents pour changer / évacuer le bac de réception).

Le ramassage mécanique à l'aide d'engins de travaux publics

► Fiches N 04



Ramassage mécanique

Les engins de type conventionnel sont largement utilisés lors d'une marée noire. Il s'agit essentiellement d'engins de travaux publics mais aussi agricoles. Très largement disponibles, rustiques, et manœuvrant même en des sites de mauvaise praticabilité, ces engins assurent plusieurs fonctions : la collecte et le transfert hors de la plage de quantités importantes de polluant et matériaux pollués, mais aussi le raclage d'une couche de polluant plus

ou moins fluide, le décaissement de sédiments propres ou encore le soutien aux opérations manuelles.

✓ très fort rendement

✗ faible sélectivité dès lors que la pollution est modérée à faible (les matériaux retirés peuvent alors avoir des teneurs en hydrocarbure < 5 %)

✗ forts impacts écologiques potentiels : prélèvements exagérés de sédiments propres ; enfouissement et malaxage du polluant dans le sable propre ; dégradation des accès ; déstructuration puis érosion du sol.

Deux points de vigilance particulière sont à mentionner :

Organisation : en vue d'être le plus sélectif possible, il conviendra de bien informer les conducteurs et d'organiser la circulation de façon à limiter l'enfouissement du polluant et l'extension de la pollution par une circulation erratique.

Sécurité : un soin particulier sera porté à la sécurité du chantier dans la mesure où en phase de ramassage grossier, les personnes présentes sur les chantiers ne sont pas toutes habituées à travailler en présence d'engins de travaux publics.

La collecte directe

Dans le cas d'arrivages massifs (et plus particulièrement de produits peu fluides à très visqueux), des engins lourds de type chargeurs à godet frontal peuvent prélever directement le polluant en bordure d'eau avec un très fort rendement.

Ces engins conviennent parfaitement à la collecte directe, tant que les nappes de polluant sont suffisamment épaisses. En revanche, très vite et à même que la pollution diminue, leur emploi est moins adapté

car ils sont de moins en moins sélectifs et retirent un volume trop important de sédiments propres. Dès lors, ils ne doivent plus intervenir qu'en soutien à des opérations mieux adaptées, en termes de sélectivité, comme le ramassage manuel par exemple.

Il est aussi fait largement appel à d'autres moyens conventionnels de type agricole. Ces engins peuvent collecter les algues ou débris souillés, mais aussi des amas importants de polluant visqueux grâce à divers équipements existants qui permettent de limiter le prélèvement d'une quantité trop importante de sable avec les débris : godet frontal ajouré, benne grillagée, fourche agricole, désoucheuse, etc.

Quand les sites sont encombrés de débris flottés encombrants (branches et troncs d'arbres, fûts, plastiques, cordages, etc.), il importe de les mettre hors de l'atteinte de la pollution et justifient très souvent une campagne spécifique préalable à l'arrivée de la pollution.

La concentration et le raclage du polluant

En présence d'une couche de polluant plus ou moins fluide déposée sur l'estran*, on peut faire appel à des engins mécaniques pour assurer la phase préliminaire de concentration sur la plage.

Cette phase de concentration s'opère par raclage de la couche de polluant échouée en essayant d'entraîner le moins de sable possible. La niveleuse a été souvent utilisée à cette fin par le passé. On peut lui préférer un rabot agricole ou un chargeur dont la lame frontale est équipée d'une bavette en caoutchouc qui rabote moins la surface de la plage.

Ce type d'opération convient sur des plages à sol ferme de sable saturé en eau. Il va sans dire que le travail ne présente

plus la précision souhaitée sur les plages à surface ondulée (*ripple marks*).

L'évacuation

Le chargeur peut transporter directement le contenu de son godet vers un entreposage en haut de plage s'il se trouve à proximité, sinon il charge un porteur approprié si la distance à l'entreposage l'impose.

En soutien au ramassage manuel, le déchet collecté est chargé manuellement dans le godet du chargeur, en vrac (à la pelle) ou sous forme conditionnée, en sacs ou en poubelles, qui peuvent y être soit vidées soit déposées en vue de leur transfert.

Différents porteurs (à benne, à tombereau, à plateau, à remorque) de type travaux publics ou agricoles peuvent être utilisés pourvu qu'ils soient adaptés au polluant et au site. Lorsque la zone est facilement accessible et praticable, on peut utiliser des camions bennes de type 6 x 4 ou semi-remorques qui seront chargés à l'aide d'engins de travaux publics.

Le ramassage mécanique à l'aide d'engins spécifiques

C'est pour pallier les limites et inconvénients à la fois des engins de travaux publics (impact écologique potentiel) et du ramassage manuel (faible rendement) que l'intérêt s'est porté naturellement vers des engins spécifiques qui seraient performants en termes de sélectivité et de rendement, en particulier sur les pollutions moyennes à légères, de type 'parsemé'.

Sur les plages de sable, 2 principes de collecte ont été principalement testés : le criblage et l'adhérence. Le premier est le plus couramment utilisé via le recours à des cribleuses* de plage ; le second, avec les rouleaux, a au moins connu un très fort

intérêt durant l'accident du *Prestige* (2002) sur les plages aquitaines. Sur les rochers, les propositions de mécanisation sont rares. Elles concernent surtout l'aspiration à l'aide de petits modèles d'aspirateurs industriels. Signalons aussi le raclage à l'aide d'un outil de type brosse munie d'un dispositif d'aspiration.

- ✓ bon rendement et bonne sélectivité ;
- ✓ disponibilité relativement bonne dorénavant sur l'ensemble du littoral français (cribleuses*).
- ✗ utilisation limitée aux plages à accès et circulation aisés ;
- ✗ fenêtre d'utilisation étroite, limitée à certaines caractéristiques du polluant et du substrat qui ne sont pas toujours rencontrées ou alors sur de trop courtes durées ;
- ✗ tendance à fragmenter les amas d'hydrocarbure (cribleuses*).

Les cribleuses*

► Fiche N 05



Cribleuse*

Ces engins ont été développés il y a plusieurs décennies pour un besoin autre que la lutte contre les marées noires : nettoyer les plages des macrodéchets qui y sont échoués ou simplement oubliés : mégots, emballages divers en plastique, en verre,

débris végétaux, etc. Il existe différents modèles allant de la grande cribleuse* (en versions tractée, portée ou automotrice) à la petite cribleuse* autotractée. La plupart fonctionnent sur le même principe : prélèvement de la couche superficielle de sable grâce à une lame d'attaque réglable (0 à 20 cm), parfois vibrante, puis remontée du bourrelet de sable (souvent facilitée par un dispositif de griffes rotatives ou *pick-up*) sur un tamis convoyeur sans fin (à mailles variables de 15 mm à 28 mm) sur lequel s'opère le criblage, et enfin réception des refus divers en une benne en bout de tapis.

Testés dès l'accident du *Tanio* (1980), ces engins s'avèrent très efficaces, sur sable sec à faiblement humide, pour récupérer des amas de polluant visqueux de type boulettes, galettes et petites plaques, et uniquement ceux-là et moyennant certaines adaptations pour limiter le fractionnement des boulettes lors du prélèvement (exemple : suppression du batteur *pick-up*, remplacé par des bavettes souples) et pour améliorer la sélectivité (exemple : excentration de l'axe de rotation des tamis pour faciliter le criblage). Si les performances varient selon les modèles de cribleuses*, la qualité du criblage ne dépend pas uniquement de la machine mais aussi du tracteur qui requiert certaines caractéristiques (puissance minimum de 120 ch, aptitude à opérer à très faible vitesse, pneumatiques adaptées) ainsi que, et peut-être surtout, du conducteur qui doit orchestrer les réglages appropriés (vitesses d'avancée du tracteur et de rotation du *pick-up* et du tapis, profondeur de travail, etc.) jouent un rôle tout aussi déterminant.

Comme tous les moyens de lutte, la cribleuse* a ses limites et ses inconvénients :

- elle n'est pas adaptée aux terrains en dévers (bourrage) ;
- elle est idéale sur sable sec fin homogène mais ne convient ni sur sable mouillé tassé (écrasement des amas), ni sur sédiments trop hétérogènes (manque de sélectivité, prélèvement important de sédiment), ni sur sédiments grossiers (problème de portance et de sélectivité) ;
- elle présente un impact écologique potentiel non négligeable si son utilisation est systématisée, exagérée et surtout si elle n'est pas cadrée notamment en certains secteurs sensibles (à proximité des pieds de dunes, par exemple).

Les rouleaux

► Fiche N 06



Rouleau oléophile*

L'adhérence des amas d'hydrocarbures sur ou au sein d'un revêtement spécifique a aussi connu un fort intérêt durant l'accident du *Prestige* (2002) où différents modèles de rouleaux ont été utilisés pour récupérer les boulettes fraîchement déposées sur les plages. Ce principe a été décliné en versions différentes en termes de dimensions et de revêtement d'adhérence. Les performances, avantages et limites varient d'un modèle à l'autre.

Ces engins sont essentiellement efficaces sur des produits frais, peu amalgamés à

du sable, et sur des sols durs (bas d'estran* par exemple).

Un des tout premiers rouleaux (à moquette) a été construit par le Cedre au début des années 80, mais il n'a pas dépassé le stade du prototype. Durant l'*Erika* (1999), une société privée avait proposé un autre prototype, basé sur une bande de géotextile et poussé par un quad, mais il ne put jamais être réellement utilisé car finalisé au moment où se tarissaient les arrivages de boulettes. Ceci illustre la difficulté que rencontrent tous ces engins spécifiques qui ont des fenêtres d'intervention trop limitées en termes de compatibilité avec le polluant et avec le site pour connaître un développement industriel, sauf circonstances favorables particulières, comme cela fut le cas lors du *Prestige* (2002), avec les arrivages réguliers de boulettes de fioul (en provenance de l'épave) s'étalant durant plusieurs mois.

Le ramassage manuel



Chantier de ramassage manuel

Le ramassage manuel est inévitable : on y a recours quelle que soit l'ampleur de la pollution et quel que soit le type de polluant ou le type de site. C'est bien souvent le principal, voire le seul moyen utilisé, notamment lors d'une pollution de faible ampleur ou éparse, et il demeure l'une des

forces principales en cas de marée noire. Compte tenu de sa précision, de son faible impact, et de la souplesse de sa mise en œuvre, le ramassage manuel peut être préféré au ramassage mécanique en cas de forte pollution localisée. On y a inévitablement recours partout où le ramassage mécanique est impossible, plus particulièrement dans les sites d'accès ou de déplacement difficile. C'est paradoxalement là que bien souvent le ramassage manuel montre une efficacité tout à fait remarquable, résultant généralement de l'organisation d'une chaîne humaine. Mais d'une manière générale, et surtout dès lors que la pollution est faible, diffuse ou résiduelle, les opérations de ramassage manuel ont des rendements faibles ► Fiche N 07

- ✓ grande souplesse
- ✓ très bonne sélectivité
- ✓ impact écologique limité (mais potentiel en secteurs de marais et de vasières)
- ✗ rendement faible
- ✗ travail fatigant et de longue durée
- ✗ main-d'œuvre requise importante

Deux points de vigilance particulière sont à mentionner :

Organisation : définir les différents postes de travail (confinement, collecte, évacuation, etc.), prévoir des rotations d'équipes et organiser le soutien mécanisé.

Sécurité/confort : organiser des pauses (repos, café), distribuer des tenues de protection adaptées à la pollution, aux intempéries et aux températures extrêmes.

La concentration et la collecte

La collecte s'effectue à l'aide d'outils divers qui doivent être adaptés aux besoins. Afin de limiter le prélèvement de sable,

les pelles et autres équipements doivent être maniés tangentiellement à la surface du sol en évitant autant que possible les prélèvements en profondeur. Dans le même souci, l'emploi de fourches est recommandé en présence de débris souillés (végétaux ou autres). En cas de pollution disséminée, il importe de procéder à sa concentration à l'aide de râpeaux, de balais-brosses, balais à feuilles, etc. Le recours à des outils plus ou moins improvisés façonnés sur place (pics, fourches grillagées, racloirs de rochers, etc.) peut faciliter le travail.

Les matériaux souillés sont rassemblés en tas ou en andains*. En présence d'hydrocarbures de faible viscosité, ces matériaux sont rassemblés, à l'aide de balais divers ou de racloirs de type porcherie par exemple, en un point de collecte (à l'intérieur d'un barrage échouable, d'un merlon* ou en une dépression, naturelle ou creusée) afin d'opérer une récupération plus sélective, éventuellement par pompage.

Les débris divers flottants souillés sont à ramasser systématiquement car ils contribuent à l'extension de la pollution et peuvent entraver la bonne marche d'autres opérations telles que le pompage ou le criblage.

L'évacuation

Lorsque la plage est accessible aux engins de travaux publics et lorsqu'il est impératif de faire vite, la collecte des tas de déchets rassemblés pourra être exécutée par moyens mécaniques (chargeurs essentiellement) en prenant garde de limiter autant que possible le prélèvement de sable propre.

L'évacuation de déchets conditionnés (sacs, poubelles, big bags, pour lesquels

des précautions doivent être prises pour éviter des déchirures ou renversements) peut être réalisée à l'aide d'engins mécanisés légers de type quad qui s'avèrent très opérationnels notamment dans des sites où des tracteurs à godets par exemple ne peuvent opérer pour raison d'accessibilité ou de praticabilité du terrain. Grâce à leurs roues motrices et leurs pneumatiques basse pression, les quads permettent une circulation motorisée sur des sols peu portants, même sur des sites sensibles (moyennant toutefois certaines règles : pas d'excès de vitesse notamment lors des girations, respect du plan de circulation, etc.). Sinon, l'évacuation des déchets doit se faire manuellement. Pour ce faire, les déchets sont conditionnés en sacs plastiques, en poubelles ou en seaux. Ils sont ensuite transportés à la main, à l'aide de civières ou à dos d'hommes.

Les autres techniques utilisées en phase de ramassage grossier

Les jets d'eau à basse pression (*flushing**)

► Fiche N 08



Flushing sur enrochement*

Le recours aux jets d'eau à basse pression (ou *flushing**) permet de remobiliser les amas frais de polluant déposés sur les surfaces (plages, rochers, etc.) ou piégés

dans les excavations et anfractuosités de rochers, les interstices de blocs, afin de les canaliser vers un point de collecte.

La pression doit être adaptée à la nature du site et aussi du polluant. On prendra soin de ne pas affouiller* la base d'enrochements ou de blocs instables ni la partie interne de certaines infrastructures constituée de petites pierres et graviers (anciennes digues de bord de marais, par exemple). Dans certains cas, l'eau sous pression favorise l'émulsification du polluant, le rendant alors de plus en plus visqueux et moins mobile. Le jet d'eau peut par ailleurs entraîner le polluant initialement en surface profondément dans le sédiment. Pour limiter cet inconvénient l'orientation oblique ou tangentielle du jet est à respecter. La création d'un flux d'eau en amont (ou saturation du sédiment, cf. ci-après) permet de restreindre davantage cette pénétration forcée du polluant.

La pression de travail varie entre 3 et 10 bars. Le matériel utilisé doit être robuste [matériel pompier traditionnel ou lance à effet Venturi* (« lance impact »)], léger et peu sophistiqué (petites pompes individuelles de 25 à 30 m³/h) pour permettre une bonne mobilité dans les zones nécessitant de fréquents déplacements du matériel. Ce type de matériel doit fonctionner à l'eau de mer. L'alimentation en eau de la pompe peut parfois poser des difficultés en certains sites à marée notamment ou en cas de plan d'eau agité où la protection et l'immersion en continu de la crépine d'aspiration n'est pas toujours possible (désamorçage, colmatage par les algues ou du sable, etc.).

Dans certains sites, à la place de petites pompes autonomes il peut être envisagé de recourir à un gros groupe de pom-

page, de plus de 100 m³/h, équipé d'une clarinette de distribution qui alimente plusieurs lances.

- ✓ impact écologique limité
- ✓ méthode sans danger pour les opérateurs
- ✓ matériel requis courant, disponibilité aisée
- ✗ inefficace sur polluant vieilli
- ✗ effet destructeur sur sols peu fermes et sur infrastructure empierrée ancienne
- ✗ possible formation de sables mouvants (foisonnement par jets bâton)

La saturation des sédiments à l'aide de fontaines (*flooding**)

► Fiche N 09



« Omnibarges » mis en place lors de l'accident de l'Exxon Valdez

Dans le cas de polluant fluide déposé sur un cordon de galets, il est recommandé de créer artificiellement la saturation en eau du cordon de façon à limiter le forçage du polluant en cas d'opération de *flushing** et de permettre un lessivage drainant. Ceci est obtenu par la création d'un flux laminaire au sein du cordon grâce une canalisation (tuyau) percée disposée en haut de cordon et alimentée par une pompe à très gros débit, à basse pression.

Lors de l'accident de l'Exxon Valdez (1989), le nettoyage à l'eau chaude sous pression

a été pour partie réalisé à l'aide de pontons « Omnibarges » spécialement mis au point pour la circonstance, munis de l'ensemble des moyens (pompes, lances, barrages, absorbants, récupérateurs, réserves de carburant, etc.) nécessaires pour conduire de manière autonome un chantier de lavage de grande ampleur en des sites isolés difficiles d'accès. Des chaudières à échangeur thermique (assurant 8 millions de BTU/h) permettaient l'alimentation en eau chaude de plusieurs lances à incendie, puis d'un bras articulé télécommandable, long d'environ 20 m et muni de 6 buses de projection d'eau sous pression. Ces chaudières fournissaient de l'eau de mer chaude (60° C) à un débit d'environ 120 m³/h dont près de la moitié était destinée à un dispositif de saturation en eau de la plage « *deluge system* » mis en œuvre simultanément.

La descente du sédiment dans la zone de déferlement (*surfwashing**)

► Fiche N 10



Opération de *surfwashing**

Le *surfwashing** consiste à descendre vers la zone de déferlement, à l'aide de chargeurs, des sédiments pollués (galets ou sable) pour les y déposer en tas ou en merlon* en vue de les soumettre à l'énergie des vagues. En détruisant ces tas, les vagues séparent le polluant du sédiment

et les redistribuent sur la plage.

En cas de forte pollution, c'est avant tout cette séparation qui est recherchée : le polluant ainsi libéré tend à se déposer sur la plage, plus facilement encore s'il s'agit d'un polluant visqueux ; il importe donc de le récupérer rapidement à la marée suivante (à l'aide de rouleau par exemple) ou mieux de le piéger avant qu'il ne se redépense en laisse de mer*.

Ce dispositif de récupération a été mis au point lors de l'accident de l'*Erika* (1999). Il s'agit de filets à mailles fines : du filet à civelles au départ, puis du filet moins coûteux : protection d'échafaudage, filet anti-grêle ou filet à pommes de terre. Les filets à civelles restent cependant plus efficaces en raison de leur texture plus rigide qui leur confère un port plus ouvert qui se maintient dans la vague tandis que les autres filets tendent à s'entortiller.

Ces filets sont attachés séparément sur l'estran* en une seule extrémité à un corps mort (big bag rempli de sable) ensouillé à l'aide d'une pelle mécanique. Leur taille varie selon le type de filets et la configuration du site : de 5 à une vingtaine de mètres de long par 1,5 à 5 mètres de large. Ils sont positionnés au-dessus du niveau de mi-marée (à une hauteur variable selon la hauteur de la marée du moment), en arrière et parfois aussi sur les bords des sédiments souillés déplacés en vue de leur nettoyage par *surfwashing**.

Ce dispositif est très efficace sur un polluant visqueux collant de type fioul lourd. En cas de polluant léger, ils s'avèrent nettement moins efficace (par manque d'adhérence et surtout d'auto-adhérence), voire pas du tout sur les sites relativement exposés.

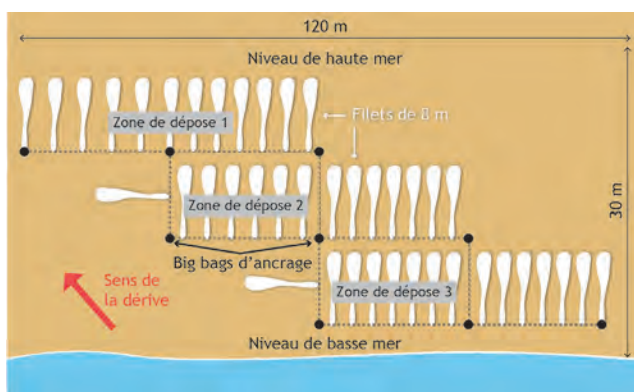


Schéma de pose du dispositif de captage des hydrocarbures libérés lors d'une opération de *surfwashing**



Lignes de captage préparées à marée basse en vue d'une opération de *surfwashing** à la marée descendante suivante

Une variante de cette technique a été mise au point durant l'accident du *TK Bremen* (2011) lors d'opérations de *surfwashing** pour nettoyer une plage de sable située à proximité immédiate d'un estuaire ostréicole, et cela à marée descendante en vue d'éviter le panache de polluant ainsi libéré de remonter la rivière à la montante. Elle consiste à saisir plusieurs filets capteurs sur une même corde flottante d'une soixantaine de mètres ancrée sur trois big bags ensouillés. Le dispositif peut être constitué de plusieurs lignes de cordes parallèles, positionnées longitudinalement à la plage.

Un chantier de *surfwashing** impressionne par les moyens lourds (chargeur, porteur) qu'il met en œuvre et par l'aspect chaotique que revêt momentanément la plage. Mais la perturbation de la plage n'est que passagère : la mer ramène à terme, au cours des marées suivantes, les sédiments descendus à leur niveau initial. Ce niveau correspond à un stade d'équilibre entre les caractéristiques des sédiments (forme, taille, poids) et celles des forces hydrodynamiques qui prévalent (en intensité, direction) dans le moment sur le site.

La mer assure par ailleurs le lavage naturel de ces derniers, par effet de choc et d'abrasion des sédiments entre eux lors de leur redistribution vers le haut de l'estran*. C'est pour cet effet que le *surfwashing** est aussi utilisé en phase 2 (nettoyage fin) pour nettoyer des galets plus ou moins souillés ou en alternative au criblage du sable fin en cas de présence de microboulettes par exemple.

Cette technique, qui repose sur des processus dynamiques naturels, montre des avantages forts intéressants mais présente aussi, en contre partie, des risques géomorphologiques évidents en cas de mauvaise application. Cette technique ne doit donc être mise en œuvre qu'en période marégraphique favorable (petits ou moyens coefficients de préférence, surtout en cas de volume conséquent) et que sous le contrôle d'un expert en géomorphologie littorale. Seul un tel expert peut, au cas par cas, évaluer la faisabilité de la technique et en définir les modalités en fonction des caractéristiques sédimentaires locales, de l'énergie des vagues et de la direction de la dérive littorale.

✓ technique très sélective

- ✓ évite surtout de recourir à un enlèvement définitif de volumes importants de sédiments qui entraînerait une érosion ultérieure de la côte inhérente au déficit sédimentaire induit.
- ✓ coût de mise en œuvre relativement bas (engins de TP et, éventuellement, achat et élimination de filets, absorbants, etc.)
- ✗ perturbation momentanée du profil de plage
- ✗ (re)contamination possible des secteurs environnants en cas de forte quantité de polluant
- ✗ risques géomorphologiques évidents (érosion du trait de côte) dès lors qu'elle est mal pilotée :

si les sédiments ont été descendus trop bas : risque d'une exportation temporaire, voire définitive, des sédiments en dehors du système de la plage. Ceci se traduira par un déficit sédimentaire à l'échelle de la plage que la mer cherchera à combler au détriment du haut de plage ;

si l'opération a été programmée à une mauvaise période marégraphique ou météo (coup de vent, tempêtes) : l'absence momentanée des galets en haut niveau ne permettra plus à ces derniers d'assurer leur rôle d'amortisseur des vagues lors des tempêtes prochaines.

Le hersage

► Fiche N 16

Cette technique, utilisée en phase 2, peut être menée en phase 1 en soutien au criblage. Il s'agit plutôt d'un labourage d'ailleurs. En cas de plaques importantes enfouies sous une forte épaisseur (supérieure à 20 cm) de sable propre, le passage à faible vitesse d'un soc (ou plusieurs espacés) peut permettre de remonter en sur-

face, sans trop la fragmenter, la pollution qui est alors accessible aux cribleuses*, comme cela fut effectué ponctuellement lors de l'*Erika* (1999) et du *Prestige* (2002).



Technique de hersage

Phase 2 : le nettoyage fin

Une fois le gros de la pollution retiré et tout risque de nouveaux arrivages de polluant définitivement écarté, la phase de nettoyage fin peut être programmée.

En règle générale, la mer parachève le nettoyage avec une efficacité parfois remarquable. Pourtant, pour des raisons écologiques mais aussi économiques ou esthétiques, le nettoyage fin est très souvent justifié, plus particulièrement :

- lorsque, au regard de la persistance du polluant et de l'exposition limitée du site, le nettoyage naturel s'avère insuffisant et rend les délais escomptés pour l'auto-nettoyage incompatibles avec les impératifs économiques ou esthétiques du site : cas d'un secteur touristique affecté en période (pré)estivale, par exemple ;
- ou lorsque la probabilité est forte pour que la pollution ait un impact évident sur les ressources vivantes, naturelles ou cultivées ou qu'elle devienne source d'une contamination chronique.

Une large panoplie de techniques existe pour le nettoyage fin (certaines d'entre elles sont d'ailleurs utilisées aussi en phase de ramassage grossier). Elles ne peuvent être systématiquement appliquées à l'ensemble des substrats mais doivent être définies en fonction des caractéristiques des sites, de l'ampleur et l'état du polluant (fluide, visqueux), des types d'arrivages (amas ou nappes en surface ou polluant enfoui) mais aussi, évidemment, de la qualité du nettoyage désiré. Il va de soi que la prise en compte de la sensibilité écologique du site et de ses environs immédiats doit s'imposer lors de la détermination de la technique et du degré de nettoyage à atteindre.

Pour cette phase de nettoyage fin, le principe de base est de tirer le plus possible profit des processus de nettoyage naturel ou de se substituer à ces derniers s'ils s'avèrent inexistantes ou pas assez efficaces.

Ces principaux processus d'auto-nettoyage, d'ordre mécanique et biochimique, sont :

- le nettoyage par les vagues, dont l'effet direct permet le décollement d'hydrocarbure frais des surfaces ainsi que, en site fortement exposé (galets et rochers), le décapage par abrasion des souillures résiduelles.
- le remaniement sédimentaire par les vagues, qui permet la séparation par tri hydraulique et la remise en suspension de l'hydrocarbure préalablement piégé dans le sédiment, mais aussi la formation d'agrégats d'hydrocarbure avec les fines particules minérales accélérant le retrait du polluant de la plage ;
- le lessivage, par percolation forcée de l'hydrocarbure fluide à travers le sédiment, lors du retrait de la vague ou à marée descendante ;
- l'activité de bactéries et micro-organismes indigènes, omniprésents et spécialisés dans la dégradation des hydrocarbures ;
- l'effet des UV qui détruisent les films d'hydrocarbures.

Agent naturel	Action	Effets	Techniques de nettoyage fin
vagues	- pression	- décollement des surfaces	- jet d'eau basse pression
fortes vagues (déferlantes)	- remaniement sédimentaire	- libération de l'hydrocarbure piégé - séparation - tri hydraulique	- hersage immergé - brassage immergé (<i>flushing*</i>) - <i>surfwashing*</i> - criblage
fortes vagues (déferlantes) + sédiments	- forte pression - abrasion/ chocs	- décapage - pulvérisation	- nettoyage haute pression - <i>surfwashing*</i>
masse d'eau	- flux d'eau - lessivage - percolation	- saturation - déplacement du polluant - retrait du polluant	- saturation (<i>flooding*</i>) - brassage (<i>flushing*</i>) - drainage
fines particules minérales	- agrégats huile-fines	- adhérence + retrait de l'hydrocarbure	- <i>surfwashing*</i> - hersage et brassage immergé
bactéries et organismes	- biodégradation	- dégradation des hydrocarbures	- biorestauration
air, UV	- altération	- dégradation des hydrocarbures	- hersage hors d'eau (remise en surface)

Tableau 3 : similitudes entre le nettoyage naturel et le nettoyage fin

Comme le suggère le tableau précédent, la majorité des techniques de restauration s'inspirent directement de ces processus naturels d'épuration. Le recours à certains produits spécifiques peut faciliter certaines techniques et en améliorer les performances.

Les techniques de nettoyage applicables à différents substrats

Les jets d'eau à basse pression

(sables, galets, rochers, marais)

Les jets d'eau à basse pression sont mis en œuvre soit pour déloger des amas résiduels de polluant piégés sur des rochers, blocs, enrochements, murs, etc. puis lessiver et rincer ces surfaces dures, soit pour extraire le polluant piégé et enfoui au sein des sédiments (galets, sables) ; dans ce dernier cas, on parle de brassage immergé

► Fiche N 11, qui consiste à remobiliser

énergiquement sous l'eau, les sédiments pour libérer le polluant.

Au-delà du brassage immergé, le recours aux jets d'eau permet d'autres opérations de nettoyage fin : le déplacement des effluents vers le point de collecte ; le décaissement de sable en pied de rochers ; ou encore, le sondage ponctuel pour identifier une pollution enfouie, etc.

Toutes ces opérations peuvent être réalisées à l'aide de pompes basse pression (3 à 8 bars) à moyen débit (25 m³/h au moins) munies d'une lance de type incendie ou de préférence de type Impact.

La récupération des effluents

► Fiches N 12 et 13

(tous substrats)

Il s'agit d'une phase importante du nettoyage. Le nettoyage ne doit pas se résumer à un simple transfert de la pollution du littoral vers la mer ; le polluant décollé



Récupération des effluents de lavage sur enrochement

ne doit pas revenir souiller des sites attenants, non souillés jusqu'alors ou déjà nettoyés. La récupération des effluents issus du lessivage ou du lavage est obligatoire, quelle que soit la technique, quel que soit le substrat, quel que soit le polluant.

La récupération est un chantier dans le chantier. Sa mise en place est à faire avant le démarrage du nettoyage proprement dit.

Le confinement des effluents est à rechercher, par gravité, drainage ou jets d'eau, en un ou deux points propices à la collecte. Les dispositifs à mettre en œuvre sont à adapter selon la configuration des sites et la nature du substrat : tranchées et cuvettes, naturelles (rochers) ou à creuser (sédiments). Il est bon de mettre à profit les reliefs du sol, de repérer les écoulements et réceptacles naturels, de les utiliser mais aussi, si nécessaire, de ne pas hésiter à les modifier. Le recours à un barrage échouable peut aussi être envisagé sur certaines plages.

La récupération peut se faire par pompage, absorption (absorbants adaptés au polluant, plus couramment conditionnés en feuilles, tapis, boudins, écheveaux), par filtration (tamis, épuisettes, etc.).

L'expérience de l'*Erika* (1999) a par ailleurs

montré l'intérêt que présente le recours à un géotextile de type voile d'hivernage (utilisé en milieu horticole pour protéger les arbustes en hiver). Il s'agit d'un voile à la fois relativement filtrant, suffisamment souple pour bien épouser les reliefs du sol, et suffisamment solide pour une (ré) utilisation en chantier de dépollution. Lors des opérations de lavage de rochers, un tel voile disposé au pied des rochers et recouvrant le lit d'écoulement jusqu'au point de collecte diminue de façon considérable la pénétration dans le sédiment des effluents durant leur course sur la plage.

Lorsque les surfaces à laver sont partiellement immergées ou situées à proximité immédiate (quelques mètres) de la mer, on peut envisager la récupération sur l'eau, à l'intérieur d'un barrage flottant léger, par écrémage, pompage ou encore captage par filet, absorption.

L'utilisation de produits absorbants (tous substrats)

Dans cette phase de la lutte, le recours aux produits absorbants a essentiellement pour but de faciliter la récupération de l'hydrocarbure décollé lors des opérations de lavage. En cas de faibles volumes d'hydrocarbure, ce procédé est plus sélectif que le pompage. Les absorbants, conditionnés de préférence, sont positionnés soit dans les tranchées de réception des eaux de lavage,



Dispositif de confinement garni de feuilles absorbantes

soit dans un barrage sur l'eau. La récupération peut être faite sur le front de vague à l'aide de fourches ou de pics (absorbants conditionnés), d'épuisettes ou de pelles spéciales à trous (absorbants en vrac ou produits végétaux assimilés).

Le décaissement des sédiments

► Fiche N 14

(sables, galets, rochers)

Suite à l'engraissement sédimentaire des plages, des parties rocheuses souillées (pied de roches, etc.) mais aussi des plaques de polluant sont souvent enfouies sous une couche de sédiment propre (sable, galets). Il convient alors de décaisser cette couverture de sédiment propre afin de remettre à jour la pollution enfouie. Cette action peut, selon le cas, se faire manuellement (à la pelle), avec de l'eau sous pression (à la lance) ou mécaniquement (pelle mécanique).

Le chantier botanique

► Fiche N 24

(sables, galets, rochers)



Suivi de chantier botanique

Il arrive que des secteurs de végétation, dans les dunes et sur les rochers, soient plus ou moins fortement pollués. Une intervention peut y être décidée. Il s'agit d'opérations délicates qui font l'objet d'une décision et de recommandations spécifiques de la part d'experts botanistes.

Des chantiers de ce type, dits 'chantiers botaniques', encadrés par des environnementalistes, ont été montés suite à la pollution de l'*Erika*. Ce terme englobe des opérations, parfois chirurgicales, de grattage, brossage, aspiration, fauche, lavage, collecte, criblage manuel du sable. Le but est de retirer le maximum de polluant sans endommager davantage le couvert végétal ou le sol. Pour les rochers colonisés par des lichens, le lavage ne doit être réalisé que de manière chirurgicale sur les principales taches ; les rochers alentours doivent être protégés des projections et ruissellements de lavage à l'aide de matériaux absorbants et de voile géotextile. Dans les fissures, certaines plantes peuvent être fauchées mais le sol, même squelettique, ne doit pas être retiré. La sensibilité de ces divers milieux réclame un soin particulier ; leur nettoyage doit faire l'objet de recommandations strictes par des experts.

Les techniques de nettoyage applicables aux sédiments

Le criblage

► Fiche N 05

(sables)



Mini-cribleuses en série*

Le criblage de phase 2 diffère légèrement de celui de la phase 1. Les mêmes cribleuses* sont utilisées (les adaptations

apportées restent d'actualité sans être toutefois systématiquement obligatoires), équipées cette fois de tamis plus fins. Mais une part importante est donnée aux petites cribleuses* qui permettent un criblage plus fin (tamis de 5 mm, voire resserré, mais souvent de manière exagérée, à 2 mm comme durant le *Prestige* (2002) sur certaines plages girondines).

En raison de la tendance à leur utilisation exagérée lors de la phase 2, les limites et recommandations relatives au criblage mécanique sont encore plus de mise qu'en phase 1.

Le drainage

► Fiche N 15
(sables)

Un hydrocarbure très fluide (ainsi que les effluents de lavage) tend à percoler dans le sédiment. Il arrive alors au bout de quelques jours que le polluant ne soit plus visible en surface mais toujours bien présent sous la couche de sable à hauteur de la résurgence de la nappe phréatique. Quand on creuse un trou sur ce type de plage, il se remplit rapidement d'eau... et d'hydrocarbure en cas de pollution. Le drainage permet ainsi d'attirer le polluant sous-jacent vers le sillon creusé à l'air libre et ainsi de canaliser le polluant pour le confiner et le récupérer. La technique consiste à creuser des sillons obliques, parallèles ou rayonnants, sur l'estran* au moyen de pelles ou de charrues. Ces tranchées convergent en un point bas de collecte qui selon le cas, peut consister en un simple merlon*, un fossé transversal (déblai déposé sur le bord de la tranchée, côté mer), un dispositif de planches, un barrage échouable ou encore, sur l'eau, en un barrage flottant.

Selon le volume d'hydrocarbure accumulé, la collecte est réalisée par écrémage/pompage (tonnes à vide, pompe, tête d'écrouage) ou absorption. La technique est aisée à mettre en œuvre mais le processus étant somme toute relativement lent, elle nécessite d'être réitérée. En présence de sédiments grossiers, des jets d'eau ou des fontaines en haut de plage peuvent améliorer le procédé en amplifiant la circulation de l'eau et la libération de l'hydrocarbure.

Le brassage immergé

► Fiche N 11
(sables et galets)



Brassage immergé

Cette technique permet de retirer du polluant enfoui dans des sédiments (sable, galets). Elle s'effectue sous l'eau, en présence d'une tranche d'eau de 5 cm minimum. Elle consiste à affouiller* les sédiments à l'aide de jets d'eau pour libérer le polluant de façon à en permettre la récupération à la surface de l'eau, par écrémage ou absorption selon les cas. Cette technique convient surtout aux produits fluides ; elle peut toutefois, comme cela a été le cas lors de l'*Erika* (1999), être utile pour casser des plaques de fioul lourd coulé afin de tenter de les faire remonter sous forme de fragments, récupérables à l'épuisette.

Une lance, de type incendie ou, mieux, à effet Venturi* (« lance impact ») suffit pour des zones restreintes qui sont alors affouillées par plusieurs opérateurs, les pieds dans l'eau. Les lances sont alimentées par des petites pompes légères facilement portables qui assurent un débit de 30 m³/h environ à une pression de 3 à 8 bars. L'alimentation en eau de la pompe peut poser des difficultés sur certains sites à marée notamment ou en cas d'agitation du plan d'eau (désamorçage, colmatage par les algues ou du sable, etc.).

La mécanisation de la technique peut être envisagée en couplant plusieurs lances sur un support mobile afin d'optimiser le rendement. Il y a quelques années, le Cedre a ainsi développé un prototype mécanisé de brassage immergé comportant une série de lances montée sur un ponton flottant mobile et, plus tard, a participé à la mise au point d'autres prototypes motorisés lors d'une intervention au Moyen-Orient. La difficulté majeure consiste à accorder et assurer en permanence l'alimentation en eau et la puissance requise des jets avec la mobilité du dispositif et avec la récupération d'hydrocarbure. Selon les circonstances, la faisabilité d'une telle mécanisation peut mériter d'être évaluée à nouveau.

Le hersage

► Fiche N 16

(sable)



Hersage

Mis en œuvre en présence d'eau, ce procédé répond au même objectif que le brassage immergé mais ici c'est une herse agricole ou un rotocultivateur qui assure le remaniement du sable. Des jets d'eau peuvent aussi être mis en action simultanément au hersage.

Le hersage peut aussi être réalisé dans une autre optique, celle de faciliter la dégradation naturelle des hydrocarbures en améliorant à la fois l'aération et l'exposition aux UV. Elle s'applique sur des plages contaminées par un polluant léger qui ne se présente plus sous la forme d'accumulations mobilisables mais sous celle d'une coloration du sable, homogène et plus ou moins marquée. Elle convient notamment pour les parties hautes de la plage qui sont moins régulièrement atteintes par la mer, et par similitude, aux parties de plages méditerranéennes atteintes lors d'une surcote. Elle doit être répétée plusieurs fois.

La descente des sédiments dans la zone de déferlement ou *surfwashing**

► Fiches N 10 et P 04

(sables et galets)

Cette technique, dite du *surfwashing**, consiste à descendre des sédiments vers le bas de plage afin de les soumettre à l'énergie des vagues. Ils remonteront progressivement à leur niveau initial sous l'action des vagues.

En phase 2, elle est utilisée pour divers objectifs :

- pour les galets, quel que soit le type de polluant, pour en parachever le lavage préalable ou comme solution la meilleure quand ils sont très peu souillés ;
- pour le sable, en alternative au criblage (en cas de présence de microboulettes de fioul lourd) ou pour en accélérer le

brassage (lors d'une contamination par un brut léger).

Dans le premier cas, souvent, il n'est pas nécessaire de prévoir un dispositif de récupération du polluant, à l'inverse du second cas pour lequel il est courant que le polluant ressorte de cette opération sous forme d'amas de tailles diverses (d'une taille éventuellement supérieure à celle qu'ils avaient initialement) ou de fortes concentrations d'irisations. Cette récupération peut alors être soit manuelle soit par captage ou absorption ou filtration (géotextile vertical).

Cette technique présente des risques géomorphologiques dès lors qu'elle met en jeu des volumes importants de sédiments ou qu'elle concerne un site où le cordon de galets joue un rôle local important dans la défense contre l'érosion du littoral par la mer. Dans ce cas, sa mise en œuvre requiert obligatoirement l'accord préalable d'un expert géomorphologue.

Une reconnaissance préalable de la pollution est à réaliser afin de déterminer avec précision l'ampleur des volumes à traiter et le mode opératoire adapté au site (plan des opérations, moment et localisation des dépôts, etc.). Le prélèvement de sédiment doit être suivi de près de façon à limiter le volume concerné au strict nécessaire. Les engins requis sont des moyens lourds, puissants et mobiles de type bouteurs ou chargeurs sur pneus, camions de carrière, etc., qui peuvent travailler avec précision, dès lors qu'ils sont bien encadrés.

Il existe une variante moins énergique du *surfwashing** qui consiste à ne rechercher que l'action de séparation de phases, par le tri et la redistribution hydrauliques que la mer assure, même en site faiblement agité. Cette action est mise à profit pour

traiter des tas de sable et d'algues décomposées renfermant quelques amas de fuel par exemple : il suffit de les déposer en tas dans le front de vagues à marée descendante. La redistribution sélective quasi instantanée réalisée par la mer permet, en simultané, la collecte, manuelle ou mécanisée (rouleau), des amas libérés sur la plage.

Le lavage de galets en installations spécifiques

Différentes techniques peuvent être envisagées pour laver des galets, en fonction des volumes à traiter, de l'accessibilité et de la taille du site. Le recours à un produit de lavage n'est pas toujours nécessaire (non utilisé par exemple sur les chantiers de l'*Erika* (1999) et du *Prestige* (2002) pour nettoyer du fioul lourd) : il faut savoir que cet ajout a un coût et qu'il pénalise énormément les opérations en termes d'efficacité de récupération d'hydrocarbure (même s'il s'agit d'un solvant, la part d'hydrocarbure momentanément dispersée échappe au dispositif de récupération) et de volumes d'effluents à traiter (plus importants en raison du rinçage supplémentaire).

• Le lavage en « cabine »

► Fiche N 19



Matériel pour le lavage en « cabine »

Cette technique, développée durant l'*Erika* (1999), est une version améliorée du procédé de lavage à l'aide de nettoyeur à pression (► Fiche N 17) de galets en bac dégrilleur (► Fiche N 18) ou sur plaque de tôle ajourée surélevée. La « cabine » est une structure grillagée métallique légère comprenant un plancher solide ajourée (grillage ou tôle), sur lequel sont lavés les galets, et trois parois latérales, recouvertes de géotextile, destinées à contenir les projections d'effluents et d'hydrocarbure. L'ensemble des effluents de lavage passent ainsi à travers le plancher et sont recueillis dans un dispositif de récupération monté au préalable sous la cabine (rigole d'écoulement protégée de géotextile, avec moyens de filtration, absorption, etc.). Pour permettre le lavage de petits galets, sans qu'ils ne soient projetés en dehors de la cabine, il suffit de les mettre dans des poches en plastique grillagé de type poches à huîtres qui sont retournées en cours de lavage.

• Le lavage en bétonnière

► Fiche N 20



Lavage en bétonnière

Le lavage des galets peut aussi être réalisé à l'aide d'une petite bétonnière installée sur la plage, au-dessus d'un dispositif de récupération. La méthode connaît différentes variantes qu'il convient de tester

selon la nature du polluant : à sec, avec éventuellement du sable comme matériau abrasif, ou à l'eau simple, avec éventuellement, si évalué nécessaire, un malaxage préalable avec un solvant pur, suivi d'un rinçage. Le malaxage des galets dans la bétonnière est court (quelques minutes - à évaluer au cas par cas).

• Le lavage en toupie à béton

► Fiche N 21

Ce procédé de lavage *ex-situ* qui utilise une toupie à béton standard, matériel relativement disponible, permet un lavage correct du sédiment, avec des moyens matériels, humains et financiers relativement limités. Ce concept testé en Grande-Bretagne il y a plusieurs années par le *Warren Spring Laboratory* a depuis été amélioré et largement utilisé lors de pollutions pétrolières à l'étranger, notamment sur les recommandations du Cedre. Les galets sont prélevés sur la plage, lavés en arrière de plage et remis, sitôt terminé le lavage, sur leur site d'extraction. Un tel chantier ne s'improvise pas dans la mesure où son implantation suppose la certitude que le retrait momentané de galets ne risque pas d'induire un quelconque préjudice à l'équilibre sédimentaire de la plage (risque d'érosion de la côte en cas de tempête), et l'existence, à proximité immédiate du site, d'une aire adaptée en termes d'accès, d'emprise au sol, et de nuisances environnementales (écologiques et sonores). Comme pour les bétonnières, la méthode de lavage connaît des variantes selon le polluant. Ici par contre, le recours à un produit, qui semble la plupart du temps nécessaire, impose des contraintes et une logistique plus importantes. Les galets pollués tournent quelques minutes avec du produit pur, puis de l'eau est introduite peu à peu en

cours de malaxage. Un ajout d'eau, après arrêt de la rotation de la toupie, permet au polluant surnageant d'être évacué par surverse en un bac spécifique. Les galets évacués sont ensuite rincés sur un bac dégrilleur à l'aide d'un nettoyeur à pression à eau chaude ► Fiche N 18. Les eaux décantées sont régulièrement écrémées de leur hydrocarbure surnageant, et réutilisées.

- **Le lavage en installation fixe de nettoyage**

- Fiche N 22

Il a parfois été fait appel à des installations fixes de lavage, de type industriel, pour laver des sables et galets pollués (exemple : *Tanio* (1980) ; *Amazzone* (1988) ; *Deepwater Horizon* (2010). Montées à proximité immédiate des plages concernées, ce type d'installations assurent un débit important de lavage (plusieurs dizaines de m³/h) tout en offrant les conditions requises de confort et de sécurité pour un chantier de longue durée. Il s'agit généralement d'installations utilisées initialement pour le lavage de granulats de carrière, adaptées pour le besoin au traitement des hydrocarbures ; elles permettent notamment une gestion en circuit fermé des liquides (eau chaude, produit de lavage et autre éventuellement) afin d'en limi-



Lavage à l'eau chaude à haute pression

ter la consommation et les volumes des effluents à traiter. Imposantes par leur taille et l'aire nécessaire à leur logistique, leur mise en œuvre ne s'envisage que lors d'une très forte pollution, et suppose la disponibilité d'un espace suffisamment important à proximité immédiate du littoral.

Techniques de nettoyage applicables aux rochers et autres surfaces dures

Le lavage à l'eau chaude à haute pression

- Fiche N 17

Pour la sécurité et la santé du personnel, l'opérateur doit obligatoirement être pourvu d'un équipement de protection adapté (combinaison jetable, ciré complet, bottes, gants, lunettes, masque, cagoule, etc.).

Le nettoyage fin des surfaces dures se fait à l'aide d'un nettoyeur à eau chaude sous pression de type courant pour lequel la pression réelle de service varie de 20 bars à 150 - 200 bars et la température de 0 °C à 90 °C. Les valeurs affichées sur le thermomètre et le manomètre de la machine ne sont pas celles qui sortent en bout de ligne, en raison des pertes de charges et de températures (surtout l'hiver) qui s'opèrent dans la machine et dans les tuyaux, et surtout quelques centimètres au-delà de la buse. Cela n'empêche pas que l'effet destructeur de ces machines peut être suffisamment important sur le milieu physique (éclatement de roche ou de joints d'ouvrages maçonnés, par exemple) mais aussi biologique (brûlure de la végétation ou stérilisation des surfaces, par exemple). Il faut donc non seulement rechercher le réglage optimum assurant un bon compromis efficacité – impact (en modulant la température et surtout la pression en

fonction de la nature et de la fragilité du substrat), mais aussi ne nettoyer que ce qui doit l'être (ne pas confondre le lichen noir *Verucaria maura* et le polluant par exemple) et respecter les instructions spécifiques qui peuvent être formulées pour certains sites écologiquement sensibles.

Les nettoyeurs à pression doivent permettre l'utilisation d'eau de mer qui, plus économique et écologique que l'eau du réseau, permet aussi de s'affranchir d'une logistique imposante que suppose l'approvisionnement en eau douce. Ils doivent aussi être d'une mise en œuvre aisée (source d'énergie thermique avec démarrage électrique) et facilement transportables (modèles de petites tailles, montés sur skid indépendant permettant leur déplacement par portage, mais aussi par grutage ou hélitreuillage).

L'entretien et la réparation de première urgence de ce type de matériel exige la mise en place d'une maintenance sur site (en moyenne un mécanicien pour 10 machines). Sur une pollution massive, il est conseillé de concentrer les machines plutôt que de les éparpiller. On assure ainsi un meilleur service de maintenance-réparation en même temps qu'un nettoyage plus efficace.

Le nettoyage fin à l'aide de nettoyeurs à pression suppose au préalable le retrait (par grattage puis *flushing**) des fortes accumulations de polluant, puis l'installation du dispositif de protection des surfaces non souillées contre les projections (voile d'hivernage) ainsi que celui de récupération des effluents.

Le recours à des produits de lavage

Le but est de ramollir et décoller plus facilement l'hydrocarbure des rochers. L'utili-

sation d'un produit n'empêche ni le raclage préalable des surépaisseurs d'hydrocarbure, ni le recours à l'eau chaude sous pression.

Au vu de l'expérience de l'*Erika* (1999) et du *Prestige* (2002), le recours à des produits de lavage n'est pas systématiquement nécessaire, même sur du fioul lourd vieilli ; toutefois l'apport de ce type de produit sur un autre polluant peut être évalué. Il existe deux types de produits dits de lavage, en France :

- les solvants, ou coupes pétrolières, qui décollent simplement l'hydrocarbure de son support, sans le disperser par la suite. Pour des raisons de toxicité, les solvants recommandés ont une faible teneur en aromatiques (< 5 %). Il va de soi que la récupération d'hydrocarbure décollé est une priorité : seuls les solvants permettent la récupération ultérieure d'hydrocarbure décollé ;
- les produits comprenant une phase solvante et une phase tensio-active : cette dernière a un effet émulsionnant, c'est à dire qu'elle disperse l'hydrocarbure décollé et facilite la pénétration dans le sédiment. En raison des effets nocifs de l'hydrocarbure dispersé sur la faune et sur la flore, l'utilisation de produits contenant des tensio-actifs doit être limitée, voire même interdite, en présence de ressources marines sensibles, exploitées ou pas, sur le site ou à proximité immédiate. En conséquence, leur usage ne doit être qu'exceptionnellement autorisé et uniquement dans des sites où l'intensité des forces hydrodynamiques (vagues, marée, courant) permettent une rapide dilution des effluents dans la masse d'eau.

Quel qu'en soit le type, le produit sélec-

tionné doit avoir fait l'objet de tests préalables (effectués par des organismes reconnus) de toxicité, de biodégradabilité et d'efficacité. Le Cedre tient à jour la liste des produits qui peuvent être utilisés sur le littoral. Il convient, en plus, de mener sur le terrain des tests contrôlés pour confirmer l'efficacité du produit sélectionné sur le polluant concerné par l'accident.

La mise en œuvre optimale de ces produits consiste à les pulvériser pur sur le support pollué, 15 à 30 minutes (selon la température ambiante) avant le lavage. Le temps de contact favorise l'action de la formule nettoyante ; il ne doit pas excéder 30 minutes en raison des risques d'évaporation du solvant. Le dosage en solvant est d'environ 1 volume de produit pour 3 volumes de polluant maximum.

Le démontage d'enrochement

Les ouvrages de protection du littoral contre l'érosion de type enrochements, en épi ou en appui, constituent de véritables pièges à hydrocarbures. Les difficultés rencontrées pour les nettoyer rendent parfois nécessaire leur démontage, au moins partiellement, seule façon d'en permettre le curage complet.

Les installations spécifiques aux sites d'accès difficile

Quand l'intervention en sites de falaises est estimée nécessaire, des mesures particulières doivent être observées concernant les équipements à installer, mais aussi les personnes à qui faire appel. L'amenée de moyens humains et matériels en pied de falaise comme l'évacuation de déchets hors d'une crique requiert en effet le recours à des cordistes professionnels hautement qualifiés qui seuls sont habilités à mettre en place les installations spécifiques de type tyrolienne, ligne de

vie (filins d'acier et cordages saisis dans la paroi) et toutes autres installations assurant la sécurisation des sites.



Nettoyage sur site d'accès difficile

Cedre

Choix, contraintes et procédures de mise en œuvre des techniques

- Matrices de choix ————— C1
- L'intervention par substrats (fiches synoptiques) ————— C2
- Des éléments d'appréciation des techniques ————— C3

Matrices de choix

Le choix des techniques diffère en fonction de l'ampleur de la pollution, de la nature du polluant et du type de côte.

Aucune n'est universelle. Certaines peuvent être utilisées, parfois avec des variantes, sur des substrats et des polluants différents. D'autres, inféodées à des conditions précises de polluant, de pollution ou de substrat, ont une fenêtre d'utilisation beaucoup plus restreinte. Enfin, certaines techniques concernent davantage les côtes à marée de la Manche et de l'Atlantique que les littoraux à très faible marnage de la Méditerranée.

Les principales techniques applicables en phase 1 ou en phase 2 font l'objet d'une fiche spécifique de présentation synthétique ou « fiche technique ».

En raison de la grande diversité des techniques et des scénarios de pollution, il est impossible de préciser ici toutes les solutions à apporter aux diverses situations. Des éléments de réponse doivent cependant être fournis en vue d'orienter le choix des techniques à mettre en œuvre.

C'est dans cette optique que figurent ci-après :

- des « matrices de choix » en vue de sélectionner, pour chacune des deux phases de l'intervention, une ou plusieurs techniques en fonction du type de polluant, du type de substrat et de la présence ou non de marnage ;
- des « fiches synoptiques » de l'intervention, de la phase 1 à la phase 2, sur chacun des principaux types de substrats.

Matrices de choix

Des matrices de choix des techniques ont été établies pour des scénarios-types de pollution survenant sur deux grands types de côtes : macrotidal (exemple la façade Manche Atlantique) et microtidal (exemple la façade Méditerranéenne). Ces scénarios résultent de la combinaison, simplifiée par grandes catégories, des caractéristiques du triplet « pollution-polluant-substrat », à savoir :

- deux types de pollutions : pollution forte et pollution faible (ou résiduelle), respec-

tivement assimilées à la phase 1 et à la phase 2 ;

- deux types de polluants : polluant dit fluide (en fait, fluide à faiblement visqueux) et polluant dit visqueux (en fait, visqueux à fortement visqueux) ;
- une vingtaine d'environnements-types définis en fonction des substrats (rochers, infrastructures, blocs, galets, sables fins, sables grossiers, vase, marais) et leur exposition à l'énergie des vagues (exposé ou abrité).

Le tableau suivant donne la lecture de ces matrices :

		Littoral/marnage	
Pollution	Polluant	Manche Atlantique	Méditerranée
Forte ou Phase 1	Fluide	Matrice 1	Matrice 5
	Visqueux	Matrice 2	Matrice 6
Faible ou résiduelle ou Phase 2	Fluide	Matrice 3	Matrice 7
	Visqueux	Matrice 4	Matrice 8

Les techniques y sont mentionnées selon leur intérêt relatif de la manière suivante :

-  « recommandé » : technique à considérer a priori sans restriction ;
-  « pouvant être utile » : technique applicable moyennant éventuellement certaines conditions favorables (polluant, site) ;
-  « à n'envisager que dans certaines conditions » : technique à n'envisager

que si les contraintes diverses que suppose leur utilisation sont respectées en termes de sensibilité écologique, de sécurité ou de faisabilité de mise en œuvre ;

-  « non approprié » : incompatibilité avec le substrat.

En outre, un renvoi à une « fiche technique » est fait systématiquement afin de mieux appréhender les procédures et restrictions.

Matrice 1			Littoral macrotidal				Phase 1 : récupération grossière				Polluant fluide à faiblement visqueux						
Substrat			Pompage				Engins TP (racleage)	Ramassage		Aide à la récupération		Protection					
			En bordure d'eau		Sur l'estran	ramassage manuel		Engins spécifiques		Flushing	Flooding	Surf washing	Filets serpillière/absorbants sur cordes				
Type	Exposition	Écrépage		Pompage			Cribleuse	Rouleau									
Infrastructures portuaires	Quai	+														Tapis de rive	
		-															
	Enrochement	+															
		-															
Rochers	Falaise	+															
		-															
	Platier	+															
		-															
	Blocs	+															
		-															
Plages sédimentaires	Galets	+															
		-															
	Sables grossiers	+															
		-															
	Sables fins	+															
		-															
Vasières		-															
Marais		-															
Voir fiche technique n°			N 01	N 02	N 02	N 02	N 03	N 06	N 07	N 05	N 06	N 8	N 9	N 10 - P 04	P 04	P 05	

 Recommandé
  Pouvant être utile
  À envisager sous certaines conditions
  Non approprié

Matrice 2			Littoral macrotidal				Phase 1 : récupération grossière				Polluant visqueux à fortement visqueux				
Substrat			Ne rien faire		Pompage		Engins TP (raclage)	Ramassage		Aide à la récupération		Protection			
					En bordure d'eau	Sur l'estran		ramassage manuel	Engins spécifiques	Flushing	Flooding	Surf washing	Filets serpillière/absorbants sur cordes		
Type	Exposition	Écrémage		Pompage	Rou-leau		Engins spécifiques	Flushing	Flooding	Surf washing	Filets serpillière/absorbants sur cordes	Tapis de rive			
Infrastructures portuaires	Quai	+													
		-													
	Enrochement	+													
		-													
Rochers	Falaise	+													
		-													
	Platier	+													
		-													
	Blocs	+													
		-													
Plages sédimentaires	Galets	+													
		-													
	Sables grossiers	+													
		-													
	Sables fins	+													
		-													
Vasières		-													
Marais		-													
Voir fiche technique n°			N 01	N 02	N 02	N 03	N 06	N 07	N 05	N 06	N 8	N 9	N 10 - P 04	P 04	P 05

 Recommandé  Pouvant être utile  À envisager sous certaines conditions  Non approprié

Matrice 3			Littoral macrotidal				Phase 2 : nettoyage fin				Polluant fluide à faiblement visqueux						
Substrat			Collecte								Lavage			Dégradation			
			Ramassage manuel	Jets d'eau à basse pression	Drainage	Hersage	Brassage immergé	Criblage mécanique	Fauche	Surf washing	Lavage à l'eau chaude haute pression	Lavage en centrale, en toupie, en bétonnière	Récupération des effluents	Ne rien faire	Bio-restauration	Scarification	
Type	Exposition		Infrastructures portuaires	+													
				-													
	Enrochement		+														
			-														
	Falaise		+														
			-														
	Platier		+														
			-														
	Blocs		+														
			-														
	Galets		+														
			-														
	Sables grossiers		+														
			-														
	Sables fins		+														
			-														
Vasières			-														
Marais			-														
Voir fiche technique n°			N 07	N 08	N 15	N 16	N 11	N 05	N 25	N 10 P 04	N 17 N 18 N 19	N 20 N 21 N 22	N 12 N 13	N 01	N 27	N 26	

 Recommandé

 Pouvant être utile

 À envisager sous certaines conditions

 Non approprié

Matrice 4			Littoral macrotidal				Phase 2 : nettoyage fin				Polluant visqueux à fortement visqueux						
Substrat			Collecte							Lavage				Dégradation			
Type	Exposition		Ramassage manuel	Jets d'eau à basse pression	Drainage	Hersage	Brassage immergé	Criblage mécanique	Fauche	Surf washing	Lavage à l'eau chaude haute pression	Lavage en centrale, en toupie, en bétonnière	Récupération des effluents	Ne rien faire	Scarification		
Infrastructures portuaires	Quai	+															
		-															
	Enrochement	+															
		-															
Rochers	Falaise	+															
		-															
	Platier	+															
		-															
	Blocs	+															
		-															
Plages sédimentaires	Galets	+															
		-															
	Sables grossiers	+															
		-															
	Sables fins	+															
		-															
Vasières		-															
Marais		-															
Voir fiche technique n°			N 07	N 08	N 15	N 16	N 11	N 05	N 25	N 10 P 04	N 17 N 18 N 19	N 20 N 21 N 22	N 12 N 13	N 01	N 26		

Recommandé

Pouvant être utile

À envisager sous certaines conditions

Non approprié

Matrice 5			Littoral microtidal				Phase 1 : récupération grossière				Polluant fluide à faiblement visqueux					
Substrat	Type	Ex-position	Ne rien faire		Pompage			Engins TP (raclage)	Ramassage			Aide à la récupération		Protection		
			En bordure d'eau	Sur l'estran	Écrémage	Pompage	ramassage manuel		Engins spécifiques	Flushing	Flooding	Surf washing	Filets serpillière/absorbants sur cordes	Tapis de rive		
Infrastructures portuaires	Quai	+														
		-														
	Enrochement	+														
		-														
Rochers	Falaise	+														
		-														
	Platier	+														
		-														
Blocs		+														
		-														
	Galets	+														
		-														
Plages sédimentaires	Sables grossiers	+														
		-														
	Sables fins	+														
		-														
Marais		-														
Voir fiche technique n°			N 01	N 02	N 02	N 03	N 06	N 09	N 08	N 07	N 12	N 13	N 10 - P 04	P 04	P 05	

 Recommandé  Pouvant être utile  À envisager sous certaines conditions  Non approprié

Matrice 6				Littoral microtidal				Phase 1 : récupération grossière				Polluant visqueux à fortement visqueux					
Substrat		Ex-position	Ne rien faire	Pompage			Engins TP (collecte directe)	Ramassage	Aide à la récupération		Protection						
				En bordure d'eau	Sur l'estran				Engins spécifiques	Flushing	Flooding	Surf washing	Filets serpillière/absorbants sur cordes	Tapis de rive			
Type	Quai	+															
		-															
Infrastructures portuaires	Enrochement	+															
		-															
Rochers	Falaise	+															
		-															
	Platier	+															
		-															
Blocs	+																
	-																
Plages sédimentaires	Galets	+															
		-															
	Sables grossiers	+															
		-															
	Sables fins	+															
		-															
Marais		-															
Voir fiche technique n°			N 01	N 02	N 02	N 03	N 06	N 07	N 05	N 06	N 08	N 09	N 10 - P 04	P 04	P 05		

Recommandé

Pouvant être utile

À envisager sous certaines conditions

Non approprié

Matrice 7			Littoral microtidal			Phase 2 : nettoyage fin			Polluant fluide à faiblement visqueux				Dégradation			
Substrat			Collecte								Lavage			Dégradation		
Type		Ex-position	Ramassage manuel	Jets d'eau à basse pression	Drainage	Hersage	Brassage immergé	Criblage mécanique	Fauche	Surf washing	Lavage à l'eau chaude haute pression	Lavage en centrale, en toupie, en bétonnière	Récupération des effluents	Ne rien faire	Scarification	
Infrastructures portuaires	Quai	+														
		-														
	Enrochement	+														
		-														
Rochers	Falaise	+														
		-														
	Platier	+														
		-														
	Blocs	+														
		-														
Plages sédimentaires	Galets	+														
		-														
	Sables grossiers	+														
		-														
	Sables fins	+														
		-														
Marais		-														
Voir fiche technique n°			N 07	N 08	N 15	N 16	N 11	N 05	N 25	N 10 P 04	N 17 N 18 N 19	N 20 N 21 N 22	N 12 N 13	N 01	N 26	

 Recommandé  Pouvant être utile  À envisager sous certaines conditions  Non approprié

Matrice 8			Littoral microtidal			Phase 2 : nettoyage fin			Polluant visqueux à fortement visqueux						
Substrat		Exposition	Collecte					Lavage			Dégradation				
Type			Ramassage manuel	Jets d'eau à basse pression	Drainage	Hersage	Brassage immergé	Criblage mécanique	Fauche	Surf washing	Lavage à l'eau chaude haute pression	Lavage en centrale, en toupie, en bétonnière	Récupération des effluents	Ne rien faire	Scarification
Infrastructures portuaires	Quai	+													
		-													
	Enrochement	+													
		-													
Rochers	Falaise	+													
		-													
	Platier	+													
		-													
	Blocs	+													
		-													
	Galets	+													
		-													
Plages sédimentaires	Sables grossiers	+													
		-													
	Sables fins	+													
		-													
Marais		-													
Voir fiche technique n°			N 07	N 08	N 15	N 16	N 11	N 05	N 25	N 10 P 04	N 17 N 18 N 19	N 20 N 21 N 22	N 12 N 13	N 01	N 26

Recommandé
 Pouvant être utile
 À envisager sous certaines conditions
 Non approprié

Cedre

L'intervention par substrats (fiches synoptiques)

Le nettoyage d'un site peut nécessiter plusieurs techniques complémentaires qui ne sont pas forcément à mettre en œuvre en même temps. Toutefois, cela suppose au préalable avoir bien défini les différentes étapes et évalué les éventuelles implications qu'elles peuvent s'occasionner les unes aux autres.

De façon à faciliter cette démarche, les sites sont regroupés en 5 grands types de substrats ou de côtes :

- rochers et infrastructures ;
- galets ;
- sable ;
- vasières ;
- marais.

Chacun de ces types de côtes fait l'objet de deux fiches synoptiques : l'une pour la phase 1 et l'autre pour la phase 2. Ces fiches synoptiques synthétisent la séquence des opérations envisageables (avec renvoi aux différentes fiches techniques), les procédures et les facteurs divers à prendre en considération aux différentes étapes de leur mise en œuvre

C2

Matrices de choix

Des matrices de choix des techniques ont été établies pour des scénarios-types de pollution survenant sur deux grandes types de côtes : macrotidal (exemple la façade Manche Atlantique) et microtidal (exemple la façade Méditerranéenne). Ces scénarios résultent de la combinaison, simplifiée par grandes catégories, des caractéristiques du triplet « pollution-polluant-substrat », à savoir :

- deux types de pollutions : pollution forte et pollution faible (ou résiduelle) respec-

tivement assimilées à la phase 1 et à la phase 2 ;

- deux types de polluants : polluant dit fluide (en fait, fluide à faiblement visqueux) et polluant dit visqueux (en fait, visqueux à fortement visqueux) ;
- une vingtaine d'environnements types définis en fonction des substrats (rochers, infrastructures, blocs, galets, sables fins, sables grossiers, vase, marais) et leur exposition à l'énergie des vagues (exposé ou abrité).

Phase 1 : Récupération grossière (1/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Pompage en bordure et sur l'eau ► Fiche N02 → récupérer les accumulations en favorisant la concentration et en améliorant le rendement et la sélectivité		
(a) Aménager le site d'entreposage (produits liquides à faiblement visqueux) - faciliter le tri - limiter les volumes à évacuer - limiter le transfert de pollution	(à adapter en fonction du polluant et du site) - aires, fosses, merlons*, bennes, cuves (étanches) - drainage (débordement eaux de pluies) - dégrillage, tri séparé - engins de TP (creusement) - membranes et géotextile de protection	- sensibilité écologique - accessibilité du site - transfert de pollution (étanchéité des entreposages, décontamination des camions) - circulation (à canaliser) - dangerosité du site (hauteur, éboulis, chute, glissade, exposition aux vagues, etc.) - sécurité et santé des personnes (vêtement de protection, gilet de sauvetage, masques) - accessibilité de la côte - agitation du plan d'eau (courants, houle, vents) - marnage - nature (émulsion, viscosité) et évolution du polluant en fonction de la température - présence de débris solides - tirant d'eau des écremeurs et compatibilité avec les fonds - récupération des liquides issus de la décantation - plan de circulation
(b) Concentrer les nappes - bloquer si possible le polluant piégé dans les criques (barrage de retenue)	- barrages flottants - barrages échouables	
(c) Confiner et reconstituer la nappe devant le moyen de pompage-écrémage - par chalutage (barrages de chantier, barrage absorbant) - par raclage (planches, racloirs, balais) - par recours à jets d'eau	- barrages de chantier - absorbants conditionnés - planches, racloirs, lances à eau - petite embarcation	
(d) Pomper - éviter l'obstruction des pompes : prévoir un dégrillage ou tout autre dispositif de retenue des débris divers	- matériel d'écémage/pompage (écumeur, pompe, tonne à vide ou autres systèmes de transfert) - grilles, paniers filtres - capacités d'entreposage et moyens de reprise	
(e) Séparer - favoriser la séparation des phases eau-hydrocarbure : cassage d'émulsion, décantation - évacuer les produits récupérés	- bacs de décantation/séparateur - pompes de transfert - désémulsifiant* - camions adaptés au polluant	

Phase 1 : Récupération grossière (2/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Ramassage manuel ► Fiche N 07 → retirer les amas mobilisables de polluants et les matériaux divers fortement pollués (sédiments, algues, débris flottés) - collecte directe (rechercher le soutien mécanisé : engins roulants, grue, etc.) - raclage - concentration (confinement) - absorption - évacuation	- pelles, fourches, raclettes, brosses - balais, brosses, truelles, etc. - barrages de chantier, absorbants - poubelles, sacs	- dangerosité du site (hauteur, éboulis, chute, glissade, exposition aux vagues, etc.) - sécurité des personnes : surveillance permanente et équipements de protection - sites rarement praticables pour les engins mécanisés - organisation les équipes
Lavage à l'eau froide à basse ou moyenne pression ou <i>flushing</i>* ► Fiche N 08 → déloger les couches d'hydrocarbures déposées sur les rochers ou piégés dans les anfractuosités (fissures, blocs, etc.) en vue de les déplacer vers un site de collecte • récupérer systématiquement les effluents pour éviter le transfert de pollution en installant un dispositif de récupération : - préparer un point de collecte, canaliser les effluents dans des écoulements préférentiels - sur l'eau ► Fiche N 12 - sur l'estran* ► Fiche N 13	- groupe de pompage (pompe individuelle de 3 à 8 bars, 30 m³/h), - lances basse pression : type incendie ou lance impact à effet Venturi* - tuyauterie, raccords (à adapter au polluant et au site) - moyens de confinement : barrages flottant ou échouable, merlons*, cuvette, etc. - moyens de récupération et d'évacuation : pompe, absorbants, etc. - moyens d'entreposage et de décantation	- dangerosité du site (hauteur, éboulis, chute, glissade, exposition aux vagues, etc.) - sécurité des personnes : surveillance permanente et équipements de protection - organisation les équipes - marée - agitation du plan d'eau

Phase 2 : Nettoyage fin (1/1)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Lavage à l'eau froide à basse pression ou <i>flushing</i>* ► Fiche N 08 → laver à grande eau les surfaces de façon à déloger le polluant résiduel et le récupérer en un point de collecte - préparer un point de collecte, canaliser les effluents dans des écoulements préférentiels - laver - récupérer les déchets décollés	- groupe de pompage (pompe individuelle de 3 à 8 bars, 30 m³/h), - lances (type incendie ou impact) - tuyauterie, raccords - pelles - barrages de chantier (flottant, échouable), - écrémeur, pompe, absorbants - bacs de stockage décantation des produits récupérés	- nature et évolution des hydrocarbures, viscosité, durcissement, épaisseur de la couche, adhérence, etc. - dangerosité du site (hauteur, éboulis, chute, glissade, vagues, etc.) - accessibilité de la côte - marnage (repli quotidien du matériel) - efficacité limitée du lavage à l'eau froide sur un hydrocarbure collant ou trop vieilli
Lavage à haute pression à l'eau froide ou à l'eau chaude (avec ou sans produit) → dégraisser plus ou moins intensément les surfaces polluées à l'aide de jets d'eau sous forte pression. Respecter les consignes d'ordre environnemental Opérations préalables : • grattage manuel → retirer les surépaisseurs résiduelles avant le nettoyage à haute pression pour en accroître l'efficacité • protection contre les projections → protéger les secteurs rocheux non souillés mais susceptibles de l'être par la projection d'effluents et aérosols souillés • lavage à eau chaude à haute pression ► Fiche N17 L'eau chaude est généralement nécessaire tandis que le recours à un produit de lavage (de type solvant de préférence) ne l'est pas systématiquement	- racloirs, brosses - sacs, poubelles, etc. - bâches souples géotextiles, éventuellement sur piquets - nettoyeur à eau chaude à haute pression (de 50 à 150 bars, de 0 à 90 °C) - lances, tuyaux, raccords - produits de lavage sélectionnés - moyens d'épandage de type horticole	- nature et évolution des hydrocarbures, viscosité, durcissement, épaisseur de la couche, adhérence, etc. - dangerosité du site (hauteur, éboulis, chute, glissade, vagues, etc.) - accessibilité de la côte - marnage (repli quotidien du matériel) - efficacité limitée du lavage à l'eau froide sur un hydrocarbure collant ou trop vieilli - fort impact potentiel du nettoyage sur le milieu (éclatement de la roche, destruction de la faune et de la flore non souillée, décapage du film biologique, etc.) - tolérer la persistance momentanée d'un film gras en fin de lavage (destruction à terme par l'action du soleil : UV) - régler la pression et la température en fonction des besoins et objectifs fixés - transfert éventuel de la pollution : par projection et migration dans le sédiment - recontamination éventuelle par l'hydrocarbure décollé - toxicité du produit de lavage : choisir un produit testé par un organisme reconnu (le Cedre tient une liste à jour) - efficacité du produit sélectionné : faire un test de validation sur le site

Phase 2 : Nettoyage fin (1/1)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
• récupérer systématiquement les effluents pour éviter le transfert de pollution en installant un dispositif de récupération : - exploiter ou aménager les écoulements naturels - à préparer avant le nettoyage proprement dit - sur l'eau ► Fiche N 12 - sur l'estran* ► Fiche N 13	(à adapter au polluant et au site) - pelles, etc. - moyens de confinement : barrages de chantier, flottant ou échouable, merlons*, cuvette, etc. - moyens de récupération et d'évacuation : pompe, absorbants, etc. - moyens d'entreposage et de décantation	- marée - agitation du plan d'eau

Phase 1 : Récupération grossière (1/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Opérations préalables : • aménagement du site de stockage - faciliter le tri - limiter les volumes à évacuer - limiter le transfert de pollution (débordement, fuites, infiltration, etc.) • ramassage des macrodéchets (retrait ou remontée temporaire hors d'atteinte par la mer) - ramassage mécanique - ramassage manuel - évacuation	(à adapter selon nature du polluant) - aire, fosses, merlons* (étanches), bennes, cuves - drainage (débordement eaux de pluies) - dégrillage, tri séparé - engins de TP (creusement) - membranes et géotextile de protection - engins agricoles (fourche...), engins de travaux publics (chargeur à godet, pelle, bouteur...) - fourches, râteliers, balais, poubelles, sacs. - engins agricoles, TP, miniers (godets, bennes, tombereaux, remorques, etc.)	- sensibilité écologique et accessibilité du site - transfert de pollution (étanchéité des entreposages, décontamination des camions) - circulation (à canaliser) - accessibilité de la plage aux engins mécaniques - organisation du personnel (très nombreux) - sélectivité
Ecrémage*/pompage ► Fiche N 02 et ► Fiche N 03 → récupérer les grosses accumulations de polluant en favorisant la concentration et en améliorant le rendement et la sélectivité - concentration de la nappe à l'aide de barrages : éviter à tout prix d'échouer les nappes sur les galets. - si une nappe s'est échouée sur la plage de galets, essayer de créer des zones d'accumulation pour faciliter le pompage - confiner et reconstituer la nappe devant le moyen de pompage-écrémage (chalutage nappe avec barrage absorbant, jets d'eau, outils manuels) - pomper - stocker et transférer	- barrages flottants - barrages échouables - barrages de chantier - absorbants conditionnés - petites embarcations (éventuellement) - planches, racloirs, lances à eau - pompe très puissante, compatible avec de grandes longueurs de canalisation. - matériel d'écumage/pompage (écumeur, pompe, tonne à vide ou autres systèmes de transfert) - grilles, paniers filtres - capacités d'entreposage et moyens de reprise	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection, masques) - nature et évolution des hydrocarbures, viscosité, durcissement, épaisseur de la couche, adhérence, etc. - dangerosité du site : souvent exposé (vagues, houle) - accessibilité de la côte : secteurs souvent impraticables aux engins ordinaires. - marnage (repli quotidien du matériel)
Ramassage manuel ► Fiche N 07 → récupérer les grosses accumulations de polluant en favorisant la concentration et en améliorant le rendement et la sélectivité - principalement ramassage manuel des accumulations et des déchets - rechercher le soutien mécanisé	- pelles, seaux - engins TP, quads	- sélectivité - présence potentielle de polluant en profondeur : pénétration (produit fluide) et/ou enfouissement (produit visqueux)

Phase 1 : Récupération grossière (2/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Surfwashing* ► Fiche N 10 → utiliser l'énergie de la mer pour séparer le polluant des galets et assurer un nettoyage grossier - renvoyer en bas de plage les galets pollués - récupérer dans l'eau (captage) ou en haut d'estran* le polluant libéré	- engins de TP :tratochargeurs, chargeuses sur pneu, bouteur, camions porteurs - matériels de récupération : filets (fioul lourd) + corps-morts, matériaux absorbants, ramassage manuel, rouleau	- accessibilité de la plage aux engins mécaniques - risques géomorphologiques (érosion) : sensibilité de l'arrière côte en l'absence temporaire de protection (faire appel à un expert géomorphologue) - conditions marégraphiques
Flushing* ► Fiche N 08 → déloger les amas de polluant collés sur les surfaces ou piégés dans les interstices ou en dessous de blocs - laver à l'eau à gros débit et basse pression	- groupe de pompage (pompe individuelle de 3 à 8 bars, de 25 à 30 m³/h), - tuyauterie, raccords	- alimentation en eau de mer : mar-nage, agitation du plan d'eau - solidité des substrats (ouvrages empierrés anciens notamment) risque d'affouillement * - risques d'émulsification du polluant - risque de pénétration du polluant en profondeur
Flooding* ► Fiche N 09 → envoyer un secteur de cordon de galets afin de limiter le forçage vertical du polluant lors du <i>flushing*</i> - créer un flux d'eau laminaire Opération complémentaire systématique : • récupérer systématiquement les effluents pour éviter le transfert de pollution en installant un dispositif de récupération - sur l'eau ► Fiche N 12 - sur l'estran* ► Fiche N 13	- conduite percée - pompe à gros débit (100 m³/h) (à adapter au polluant et au site) - moyens de confinement: barrage flottant ou échouable, merlon*, cuvette, etc. - moyens de récupération et d'évacuation : pompe, absorbants, etc. - moyens d'entreposage	- alimentation en eau de mer : mar-nage, agitation du plan d'eau - sélectivité - présence potentielle de polluant en profondeur : pénétration (produit fluide) et/ou enfouissement (produit visqueux)

Phase 1 : Nettoyage fin (1/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Lavage à l'eau froide à basse ou moyenne pression ou <i>flushing</i>* ► Fiche N 08 → laver à grande eau le cordon de galets de façon à déloger le polluant résiduel (polluant liquide) et le récupérer en un point de collecte - préparer un point de collecte, canaliser les effluents dans des écoulements préférentiels - laver - Récupérer les déchets décollés	- groupe de pompage (pompe individuelle de 3 à 8 bars, 30 m³/h), - lances (type incendie ou impact) - tuyauterie, raccords - pelles - barrages de chantier (flottant, échouable), - écrémeur, pompe, absorbants - bacs de stockage décantation des produits récupérés	- dangerosité du site : souvent exposé (vagues, houle) - sensibilité écologique du site - accessibilité de la côte - alimentation en eau - marnage (repli quotidien du matériel) - nature et évolution des hydrocarbures (viscosité, durcissement, épaisseur, adhérence, etc.)
Lavage en installations → dégraisser plus ou moins intensément les galets pollués Opérations préalables au lavage : • grattage manuel → retirer les surépaisseurs résiduelles (produit visqueux) avant le nettoyage à haute pression pour en accroître l'efficacité • récupération des effluents → récupérer les effluents en un point bas, éviter le transfert de la pollution vers le bas de plage ► Fiche N 12 et ► Fiche N 13 - dispositif à monter à l'endroit du lavage, avant le lavage proprement dit - exploiter ou aménager les écoulements naturels, les bâcher si possible	- racloirs, brosses - sacs poubelles, etc. - bâches souples géotextiles, éventuellement sur piquets - barrage, écrémeur, absorbants, filtre - pelles - géotextile filtrant - moyens de récupération (pompage, absorbant, épuisettes, etc.)	- transfert éventuel de la pollution : migration dans le sédiment - recontamination éventuelle des hydrocarbures préalablement décollés - présence potentielle de polluant en profondeur : pénétration (produit fluide) et/ou enfouissement (produit visqueux)
lavage en cabine ► Fiche N 19 - l'eau chaude est nécessaire tandis que le recours à un produit de lavage (de type solvant de préférence) n'est pas systématique. - régler la pression en fonction de la taille des galets ; utiliser des enveloppes grillagées (type poches à huîtres) éventuellement pour les petits galets	- nettoyeur à eau chaude à haute pression (de 50 à 150 bars, de 0 à 90 °C) pouvant utiliser l'eau de mer - cabine de lavage (structure grillagée sur pied) - lances, tuyaux, raccords - (éventuellement) produit de lavage sélectionné de type solvant, avec moyens d'épandage de type horticole	- la récupération est plus aisée en l'absence de produit de lavage - admettre la persistance momentanée d'un film gras en fin de lavage (destruction à terme par UV) - choisir un produit testé par un organisme reconnu et faire un test de validation d'efficacité sur le site - fragilité des galets

Phase 1 : Nettoyage fin (2/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Lavage en bétonnière ► Fiche N 20 - l'eau chaude facilite le lavage tandis que le recours à un produit de lavage (de type solvant de préférence) n'est pas systématique Lavage en toupie à béton ► Fiche N 21 - l'eau chaude facilite le lavage tandis que le recours à un produit de lavage (de type solvant de préférence) n'est pas systématique - le recours à un produit de lavage (de type solvant de préférence) est généralement nécessaire	• bétonnière - dispositif de rinçage sur grille (éventuellement) - dispositif de récupération des effluents - eau chaude (nettoyeurs à haute pression) • toupie à béton - produit de lavage (solvant) - eau chaude (nettoyeurs à haute pression) - dispositif de rinçage sur grille - dispositif de récupération/décantation des effluents - entreposage des effluents et polluants	- sensibilité de l'arrière côte en l'absence temporaire de la protection assurée auparavant par les galets - aire disponible - efficacité et toxicité du produit de lavage - assurer le retour des galets sur le site d'extraction
Surfwashing* ► Fiche N 10 → utiliser le pouvoir nettoyant de la mer pour parachever le lavage des galets ou nettoyer des galets faiblement pollués - dépôt en bas de plage de galets une fois lavés - dispositif de récupération du polluant non nécessaire a priori - nota : en cas d'une faible pollution disséminée, se contenter de lancer à la main les galets peu souillés dans les vagues	- chargeur, camions bennes, brouette - filets de captage éventuellement (si présence de boulettes)	- sensibilité de l'arrière côte en l'absence temporaire de la protection assurée auparavant par les galets - vérifier l'absence de polluant en laisse de mer*
Biorestauration ► Fiche N 27 → accélérer la dégradation naturelle des hydrocarbures par les bactéries et autres micro-organismes - évaluation de l'opportunité de mise en œuvre - épandage de produits - mise en place d'un suivi	- expert - produit + épandeur	- uniquement sur très faible pollution ou pollution résiduelle en site abrité - faisabilité (à évaluer selon procédure définie par experts) - efficacité et toxicité du produit

Phase 1 : Ramassage grossier (1/3)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Pompage en bordure et sur l'eau ► Fiche N 02 → récupérer les accumulations en favorisant la concentration et en améliorant le rendement et la sélectivité		
(a) Aménager le site d'entreposage (produits liquides à faiblement visqueux) - faciliter le tri - limiter les volumes à évacuer - limiter le transfert de pollution	(à adapter en fonction du polluant et du site) - aires, fosses, merlons*, bennes, cuves (étanches) - drainage (débordement eaux de pluies) - dégrillage, tri séparé - engins de TP (creusement) - membranes et géotextile de protection	- sensibilité écologique - accessibilité du site - transfert de pollution (étanchéité des entreposages, décontamination des camions) - circulation (à canaliser)
(b) Concentrer les nappes sur la plage - dévier le polluant vers la plage (barrage flottant positionné en épis le long des grandes plages à contre courant de la dérive littorale) - bloquer le polluant piégé dans les criques (barrage de retenue) - éviter l'échouage de la nappe sur la plage (cas de marée à faible marnage) à l'aide d'un barrage longitudinal posé en bordure de plage (avec pompage par-dessus le barrage)	- barrages flottants - barrages échouables	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection, masques), décontamination - accessibilité de la côte - agitation du plan d'eau (courants, houle, vents) - marnage
(c) Confiner et reconstituer la nappe devant le moyen de pompage-écrémage - par chalutage (barrages de chantier, barrage absorbant) - par raclage (planches, racloirs, balais) - par recours à jets d'eau	- barrages de chantier - absorbants conditionnés - planches, racloirs, lances à eau - petite embarcation	- accessibilité de la côte - agitation du plan d'eau (courants, houle, vents) - marnage
(d) Pomper - éviter l'obstruction des pompes : prévoir un dégrillage ou tout autre dispositif de retenue des débris divers	- matériel d'écémage/pompage (écémur, pompe, tonne à vide ou autres systèmes de transfert) - grilles, paniers filtres - capacités d'entreposage et moyens de reprise	- nature (émulsion, viscosité) et évolution du polluant en fonction de la température - présence de débris solides - tirant d'eau des écrémurs et compatibilité avec les fonds
(e) Séparer - favoriser la séparation des phases eau-hydrocarbure : cassage d'émulsion, décantation - évacuer les produits récupérés	- bacs de décantation/séparateur - pompes de transfert - désémulsifiant* - camions adaptés au polluant	- récupération des liquides issus de la décantation - sensibilité et accessibilité du site - plan de circulation

Phase 1 : Ramassage grossier (2/3)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Ramassage sur les plages (1/2) → récupérer les accumulations en favorisant la concentration et en améliorant le rendement et la sélectivité		
Opérations préalables : • aménagement du site de stockage - faciliter le tri - limiter les volumes à évacuer - limiter le transfert de pollution (débordement, fuites, infiltration, etc.) • ramassage des macrodéchets (retrait ou remontée temporaire hors d'atteinte par la mer) - ramassage mécanique - ramassage manuel - évacuation	(à adapter selon nature du polluant) - aire, fosses, merlons* bennes - (étanches) - cuves, bacs, etc. - drainage (débordement eaux de pluies) - dégrillage, tri séparé - engins de TP (creusement) - membranes et géotextile de protection - engins agricoles (fourche...), engins de travaux publics (chargeur à godet, pelle, bouteur...), engins spécifiques (cribleuses*, ratisseuses, râteliers mécaniques) - râteliers, balais, poubelles, sacs - engins agricoles, TP, miniers (godets, bennes, tombereaux, remorques, etc.)	- sensibilité écologique et accessibilité du site - transfert de pollution (étanchéité des entreposages, décontamination des camions) - circulation (à canaliser) - accessibilité de la plage aux engins mécaniques - organisation du personnel (très nombreux) - sélectivité : éviter d'enlever trop de sable sous prétexte d'obtenir tout de suite une plage apparemment propre
Raclage de la couche d'hydrocarbure déposée sur le sable ► Fiche N 04 (vers des zones d'accumulation, puis pompage ou ramassage à la pelle)	- engins TP : godet ou lame avec caoutchouc - manuel : planches, racloirs de type porcherie, lances à eau	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection, masques) - sélectivité (épaisseur de la couche) - procédure : progression méthodique
Pompage sur l'estran* ► Fiche N 03 - favoriser la concentration des nappes et améliorer le rendement - éviter l'obstruction des pompes : prévoir un dégrillage ou tout autre dispositif de retenue des débris divers - limiter les volumes à évacuer : favoriser la séparation des phases eau-hydrocarbure (cassage d'émulsion, décantation)	- barrages de chantier - matériel d'écumage/pompage (écumeur, pompe, tonne à vide ou autres systèmes de transfert) - dégrilleurs, filtres, etc. - capacité d'entreposage et de reprise - bacs de décantation/séparateur - pompes de transfert - produit désémulsifiant* (+ injecteur) - camions adaptés au polluant	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection, masques) - nature (émulsion, viscosité) et évolution du polluant en fonction de la température - agitation du plan d'eau et marnage - présence de débris solides - tirant d'eau des écumateurs et compatibilité avec les fonds - récupération des liquides obtenus après décantation - sensibilité et accessibilité du site - plan de circulation
Criblage ► Fiche N 05 → cribler le sable afin d'en extraire les amas de polluant visqueux - respecter les procédures (sélectivité) et recommandations environnementales	- cribleuses* : adaptations nécessaires - tracteur à godet pour évacuation	- macrodéchets (à retirer au préalable) - caractéristiques favorables du sable : sec, fin et homogène - fort impact potentiel en pied de dunes

Phase 1 : Ramassage grossier (3/3)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Ramassage sur les plages (2/2) → récupérer les grosses accumulations de polluant en favorisant la concentration et en améliorant le rendement et la sélectivité		
Relevage par rouleau ► Fiche N 06 → prélever sélectivement le polluant échoué à la surface de la plage	- rouleaux (divers modèles avec divers tracteurs)	- macrodéchets (à retirer au préalable) - caractéristiques propices du sable : gorgé d'eau, dur et homogène - hydrocarbure frais collant suffisamment visqueux
Ramassage manuel ► Fiche N 07 → prélever sélectivement le polluant échoué à la surface de la plage - par collecte directe - concentration : ratissage et raclage - par criblage	- outils manuels : fourches, râteliers, balais divers (à brosse, à feuilles, etc.), pics, tamis, etc. - poubelles, sacs - soutien mécanisé : engins agricoles, TP, (godets, tombereaux, remorques, etc.), quads	- sécurité des personnes: équipements de protection - organisation du personnel (très nombreux) - sélectivité : éviter d'enlever trop de sable sous prétexte d'obtenir tout de suite une plage apparemment propre - accessibilité de la plage aux engins mécaniques
Jets d'eau ou <i>flushing</i>* ► Fiche N 08 → déplacer le polluant fluide échoué sur la plage - laver à l'eau à gros débit et basse pression Opération complémentaire systématique : • récupérer systématiquement les effluents pour éviter le transfert de pollution en installant un dispositif de récupération - sur l'eau ► Fiche N 12 - sur l'estran ► Fiche N 13	- lances de type incendie ou Impact - pompes (3 à 8 bars, 25 à 30 m³/h) - jet plat plutôt que bâton - (à adapter au polluant et au site) - moyens de confinement: barrages flottant ou échouable, merlons*, cuvette, etc. - moyens de récupération et d'évacuation: pompe, absorbants, etc. - moyens d'entreposage et de décantation	- alimentation en eau de mer : mar- nage, agitation du plan d'eau - risque de pénétration du polluant en profondeur - marée - agitation du plan d'eau

Phase 2 : Nettoyage fin (1/1)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Surfwashing* ► Fiche N 10 → parachever le nettoyage ou séparer le polluant résiduel soit sous la forme de microboulettes (en alternative au criblage) soit sous la forme de polluant fluide (sable teinté) - renvoi en bas de plage des sédiments pollués (galets et sables) - récupération des éventuels amas libérés	- tracto chargeurs, chargeuses sur pneu, bouteur, camions porteurs - matériels de récupération : filets (polluant visqueux), matériaux absorbants, ramassage manuel, rouleau	- sensibilité écologique : caractéristiques géomorphologiques (faire appel à un expert géomorphologue) - conditions marégraphiques
Jets d'eau à basse pression ► Fiche N 08 → laver à grande eau des surfaces - déplacement de l'hydrocarbure résiduel fluide vers un point de collecte - récupérer les effluents	- lance à incendie, lance impact + pompe basse pression - barrage léger, absorbant + pompes, récupérateurs, absorbants	- alimentation en eau - orientation et pression du jet (éviter les jets bâton, incliner le jet) - sables mouvants temporaires
Drainage ► Fiche N 15 → favoriser l'écoulement du polluant au niveau de la zone de résurgence de la nappe phréatique - creuser des sillons drainants obliques, vers une fosse en bas de la plage - récupérer les effluents	- tracteur + charrue 2 socs pour fossés drainants	- résurgence de la nappe phréatique - fluidité de l'hydrocarbure - réitérer l'opération
Hersage ► Fiche N 16 → cas 1 - en eau : favoriser la remise en suspension de l'hydrocarbure fluide piégé dans le sable et le récupérer à la surface de l'eau - passage sous faible hauteur d'eau à marée montante (20 à 30 cm) - récupération des effluents surnageant → cas 2 - hors d'eau : favoriser l'aération du sable pollué par un polluant fluide (sable teinté)	- tracteur + herse ou griffe agricole, ou scarificateur, ou rotocultivateur (cas 1 et 2) - récupération des effluents sur l'eau (barrage de chantier, absorbants, épuisettes, écrémage) (cas 1)	- conditions marégraphiques - sédiments homogènes - réitérer l'opération

Phase 2 : Nettoyage fin (1/2)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Brassage immergé ► Fiche N 11 → favoriser la remise en suspension de l'hydrocarbure fluide piégé dans le sable ou les galets, et le récupérer à la surface de l'eau - affouiller* le sable pollué, à marée haute. - récupérer les effluents surnageant	- lance à incendie, lance impact - pompe basse pression - barrage léger, absorbant. - pompes, récupérateurs, absorbants	- réitérer l'opération - fluidité de l'hydrocarbure - sables mouvants temporaires
Criblage ► Fiche N 05 → retirer les boulettes résiduelles de petite taille - procéder avec méthode par passes à lente vitesse (cribleuse*)	- grandes cribleuses* et microcribleuses* - criblage manuel (éventuellement dans secteurs végétalisés) : tamis, filets, etc.	cribleuse* : - nature du substrat : sec fin homogène et à faible pente - impact écologique potentiel au niveau de la végétation des pieds de dunes - sélectivité : risque de retrait important de sable propre, si opération mal réalisée
Biorestauration ► Fiche N 27 → accélérer la dégradation naturelle des hydrocarbures par les bactéries et autres micro-organismes - épandage de produits	- produit - épandeur	- mise en œuvre : uniquement sur très faible pollution ou pollution résiduelle en site abrité (évaluer selon procédure définie par experts) - efficacité et toxicité du produit - mise en place d'un suivi

Ramassage grossier (1/1)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Ne rien faire ► Fiche N 01 → ne pas créer de dommages environnementaux supplémentaires liés à une intervention non nécessaire - reconnaissance du site À considérer en priorité notamment en cas de petite à moyenne pollution	- petite embarcation à fond plat - aéroglisseur éventuellement	- forte sensibilité écologique - l'impact écologique de l'intervention peut être plus néfaste que celui de l'hydrocarbure seul - très faible portance du sol : difficultés d'intervention - faible probabilité de maintien du polluant sur site - intervention à n'envisager qu'en cas de dépôts de grosses nappes de fioul lourd ou en cas d'enfouissement
Ramassage manuel ► Fiche N 07 → retirer les amas de polluant et les débris pollués et les grosses accumulations d'hydrocarbures notamment les plus aisément accessibles (cette phase est généralement la seule à envisager) - à pied - à partir de petites embarcations	- outillage manuel : fourches, pelles, raclettes, râtaux, etc. - poubelles, civières, etc. - cheminements artificiels (caillebotis, piste de roulement, grillage géotextile) - petite embarcation à fond plat, ponton flottant, etc.	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection et dispositif de sauvetage) - très faible portance du sol - sélectivité - organisation des équipes : définir avec précision la procédure d'intervention et les différents postes de travail
Jets d'eau → déplacer à marée basse les accumulations de polluant mobilisable vers le chenal en un point de collecte sur l'eau - cas 1 : <i>flushing</i>* à très faible pression ► Fiche N 08 - cas 2 : flux laminaire à partir d'une fontaine (<i>flooding</i>*) ► Fiche N 09	- lance incendie ou à effet Venturi* - alimentation : petite pompe, éventuellement flottante ou pompe à gros débit alimentant plusieurs lances via une clarinette - tuyau percé (fontaine) - cheminements artificiels - ponton flottant, petites embarcations - moyens de confinement (barrage flottant), de récupération (pompage ou absorption, épuisette) et d'entreposage	- alimentation en eau très souvent problématique : prévoir retenues d'eau dans chenaux ou réservoirs d'eau de mer - effet destructeur du sol si pression trop forte
Remise en flottation → décoller les accumulations de polluant pour les remettre en flottation afin de les récupérer en (sub) surface (écrémage, absorption, épuisette, etc.) - cas 1 : via une légère agitation de surface ► Fiche N 11 - cas 2 : via toute autre agitation mécanique de faible intensité : - soit de l'eau en (sub)surface : à l'aide d'agitateur, hélice, ventilateur ou par bullage - soit du polluant : à l'aide de dispositifs légers vibrant sur le fond (chaînes, etc.)	À évaluer selon la consistance de la vase et la viscosité du polluant - embarcation à fond plat - petite pompe d'alimentation, pompe flottante éventuellement - lance type incendie ou Impact - compresseur - agitateur, hélice, ventilateur - chaîne - moyens de confinement (barrage flottant), de récupération (pompage ou absorption, épuisette) et d'entreposage	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection et dispositif de sauvetage) - effet destructeur du sol si trop d'énergie : créer une faible à très faible pression ou agitation du plan d'eau - organisation des moyens : définir avec précision la procédure d'intervention et les différents postes de travail

Ramassage grossier (1/1)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Ne rien faire ► Fiche N 01 → ne pas créer de dommages environnementaux supplémentaires liés à une intervention non nécessaire - reconnaissance du site - suivi de l'évolution/surveillance régulière du marais et de la pollution À considérer en priorité notamment en cas de petite à moyenne pollution	- petite embarcation à fond plat (éventuellement)	- forte sensibilité écologique de ce type de site - faible portance du sol - impact écologique de l'intervention potentiellement plus néfaste que celui de l'hydrocarbure - intervention à n'envisager qu'en cas de gros dépôts de polluant visqueux ou d'enfouissement - faire appel à un expert botaniste
Opérations préalables : • Préparation des cheminements et des points d'entreposage → limiter les méfaits de l'intervention notamment de la fréquentation : réduire et canaliser la circulation, définir, baliser et protéger les cheminements et sites d'entreposage	- piquets, ruban de chantier, etc. - protection des sols (cheminements et points d'entreposage) : géotextile, piste, ganivelles, plaques, etc.	- sensibilité écologique - définition en fonction de la sensibilité des plantes (recours à un expert botaniste)
Ramassage manuel ► Fiche N 07 → retirer les débris pollués et les grosses accumulations d'hydrocarbures notamment les plus aisément accessibles (cette phase est généralement la seule à envisager) : - à pied - à partir de petites embarcations	- outillage manuel : fourches, pelles, raclettes, râpeaux, etc. - poubelles, civières, etc. - cheminements artificiels : caillebotis, piste de roulement, grillage géotextile - petite embarcation à fond plat, ponton flottant, etc. - quad éventuellement en soutien	- sécurité et santé des personnes - organisation des équipes : définir avec précision la procédure d'intervention et les différents postes de travail - sensibilité au piétinement - sélectivité - encadrement par un botaniste
Jets d'eau → déplacer les accumulations de polluant mobilisable vers un point de collecte en dépression (mare, chenal) ou sur l'eau (barrage flottant) - cas 1 : jets plats à très faible pression ► Fiche N 08 - cas 2 : flux laminaire à partir d'une fontaine (flooding*) ► Fiche N 09	- petite pompe d'alimentation éventuellement flottante ou pompe à gros débit alimentant plusieurs lances via une clarinette - lance type incendie - tuyau percé (fontaine) - cheminements artificiels - petite embarcation à fond plat, ponton flottant - barrage léger flottant - moyens de confinement (barrage flottant), de récupération (pompage ou absorption, épuisette) et d'entreposage	- alimentation en eau très souvent problématique : prévoir retenues d'eau dans chenaux ou réservoirs d'eau de mer ou pompage en front de marais - effet destructeur potentiel du jet d'eau (pression)
Fauche ► Fiche N 25 → couper et retirer les parties aériennes des plantes fortement engluées ou imbibées, de façon à réduire l'impact et supprimer la source de contamination chronique - à pied - à partir du plan d'eau	- outils manuels de coupe (faucilles, faux, cisailles, débroussailluses à dos, etc.) - faucardeuse* - big bags - cheminements artificiels - petite embarcation à fond plat - évacuation (civières, hotte ; embarcation, quads en soutien, etc.)	- uniquement en cas de forte pollution et sur recommandation d'un botaniste (qui encadre et suit le chantier) - effets variables (bénéfiques à délétères) selon les espèces et les saisons - nouveaux arrivages éventuels de polluant - fréquentation ou pas par avifaune - sécurité et organisation du personnel

Nettoyage fin (1/1)

Techniques - objectifs - procédures	Matériels nécessaires	Facteurs à prendre en compte
Drainage ► Fiche N 15 → libérer le polluant piégé dans le sol et la végétation en creusant des petits sillons convergeant vers un point bas de collecte (mare, chenal) ou sur l'eau (barrage flottant) Recours possible à des jets d'eau : - cas 1 : jet d'eau bâton à très faible pression ► Fiche N 08 - cas 2 : flux laminaire à partir d'une fontaine (flooding) ► Fiche N 09 • récupérer systématiquement les effluents pour éviter le transfert de pollution en installant un dispositif de récupération - sur l'eau ► Fiche N 12 - sur l'estran* ► Fiche N 13	- pelles, bêches, etc. - dispositif de confinement (barrages légers absorbants, barrières filtrantes improvisées dans chenaux, etc.) - moyens de récupération (absorption, pompage) - petite pompe d'alimentation, pompe flottante éventuellement - lance type incendie ou Impact - pompe à gros débit alimentant plusieurs lances via une clarinette - tuyau percé (fontaine) À adapter au polluant et au site - moyens de confinement : barrages flottants ou échouables, cuvette, etc. - moyens de récupération et d'évacuation : pompe, absorbants, etc. - moyens d'entreposage et de décanation	- uniquement sur marais très pollué par un hydrocarbure fluide - alimentation en eau très souvent problématique : prévoir retenues d'eau dans chenaux ou réservoirs d'eau de mer - effet destructeur du sol si pression des lances trop forte - marée - agitation du plan d'eau
Remise en flottation → décoller les accumulations importantes de polluant pour les remettre en flottation puis les récupérer en (sub)surface : - cas 1 : via une légère agitation de surface ► Fiche N 11 - cas 2 : via toute autre agitation mécanique de faible intensité de l'eau en (sub)surface, à l'aide d'agitateur, hélice, ventilateur ou par bullage	À évaluer selon le type de marais et la viscosité du polluant - embarcation à fond plat, ponton - petite pompe d'alimentation, pompe flottante éventuellement - lance type incendie ou Impact à effet Venturi* - compresseur - agitateur, hélice, ventilateur - moyens de confinement et de récupération (pompage, écrémage ou absorption, épuisette) et d'entreposage	- sécurité et santé des personnes (vêtement de protection et dispositif de sauvetage) - effet destructeur du sol et de la végétation si la pression est trop forte : créer une faible à très faible agitation du plan d'eau - organisation des moyens : définir avec précision la procédure d'intervention et les différents postes de travail
Scarification ► Fiche N 26 → faciliter la dégradation naturelle des hydrocarbures - cassage des encroûtements	- outils manuels : râteliers, scarificateurs	- suppose une intervention plusieurs mois après l'accident
Biorestauration ► Fiche N 27 → accélérer la dégradation naturelle des hydrocarbures par les micro-organismes - épandage de produits	- produit - épandeur	- uniquement sur faible pollution ou pollution résiduelle - opportunité de mise en œuvre (évaluer selon procédure définie par experts) - efficacité et toxicité du produit - mise en place d'un suivi

Des éléments d'appréciation des techniques

L'évaluation du rendement des techniques

Selon les sources d'information et selon le mode de calcul, les performances journalières des différentes techniques sont sujettes à de grandes variations. Le rendement journalier varie, de fait, en fonction de la pollution du site et évidemment des personnes qui interviennent. Les paramètres influents sont nombreux ; en font notamment partie les points suivants :

- les caractéristiques de la pollution (ampleur, types d'arrivage, évolution) : comparées aux performances observées en début d'opérations (ou sur une pollution forte), celles enregistrées en fin d'opérations (ou sur une pollution diffuse) sont nettement moindres. La pollution, plus parsemée et de plus faible épaisseur, est en effet moins facile à ramasser et suppose plus de déplacements de la part des personnes et/ou des engins, soit plus de temps improductifs pour un volume final de déchets moindre ;
- les caractéristiques du site :
 - l'accessibilité, la praticabilité par piétons, engins : de nombreux temps morts possibles, selon les cas, lors de l'arrivée des moyens sur la plage, des déplacements sur le site, de l'évacuation des déchets ;
 - le marnage : sur une côte sans marée l'effort sera éventuellement concentré sur un liseré étroit tandis que sur une côte à fort marnage la pollution

affectera, à des degrés variables, l'estran* sur une largeur pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres ;

- les conditions météo : des fortes ou basses températures, un vent fort, la pluie, etc. rendent plus pénibles les opérations et en pénalisent le rendement ;
 - la saison et la latitude qui commandent la durée du jour et les conditions météo.
- la variété des équipes de nettoyage (motivation, encadrement, moyens adéquats, expérience, formation) et, dans le temps, au sein d'une même équipe (découragement, fatigue).

En outre, les rendements varient en fonction des modes d'évaluation selon que l'on se base sur :

- les performances brutes potentielles, soit annoncées par le constructeur soit issues d'une extrapolation à partir d'une observation de courte durée (< 1 heure) ;
- les performances rapportées au nombre d'heures de travail effectif (déduits les temps morts divers) ou pas ;
- les performances brutes rapportées à l'ensemble de la chaîne de nettoyage et du personnel sur le terrain (à savoir collecte plus transfert jusqu'au site d'entreposage intermédiaire, incluant de la sorte le personnel affecté à des postes autres que celui de la collecte proprement dite).

Il s'avère donc difficile de comparer le ren-

dement d'opérations a priori équivalentes et de fournir des chiffres précis des rendements. Les données qui figurent dans le présent guide correspondent en conséquence à des ordres de grandeur

L'évaluation du coût des opérations

Toute évaluation *a priori* de coûts d'opérations de nettoyage ne peut qu'être sujette à caution. L'évaluation du coût d'une technique nécessite de prendre en compte plusieurs paramètres notamment la nature, l'origine, le nombre et la durée de présence sur zone des moyens humains et matériels, ainsi que la spécificité des sites. L'expérience, la motivation, l'efficacité (en termes de rendement et de sélectivité) des équipes de nettoyage déterminent largement le coût des opérations. Il est, de ce point de vue impossible de définir à l'avance le coût précis de telle ou telle opération tant est grande la disparité d'origine des personnes affectées au nettoyage du littoral : militaires, pompiers, agents de l'État, agents des collectivités territoriales, sociétés privées, bénévoles.

Dans le cadre d'un marché public, le référentiel varie énormément selon qu'il s'agit d'une obligation de moyens ou de résultat. Il correspond soit à un linéaire (le mètre linéaire), soit une surface ou un volume (le m², le m³) ; il est alors défini tantôt comme surface réellement souillée tantôt comme surface globale affectée. Le coût peut aussi être rapporté à une durée (homme/jour ou équipe/jour) incluant ou pas les moyens matériels.

Une société privée aura par ailleurs tendance à moduler son prix unitaire en fonction des quantités à nettoyer (effet d'échelle), des difficultés de logistique

(accès, contraintes environnementales) et d'organisation qui, pour des substrats identiques, diffèrent d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre pour un même site (intempéries, durée de jour, possibilités d'hébergement, par exemple).

En dehors de toute considération de profit, l'évaluation de ces divers paramètres sur des mêmes chantiers par différentes sociétés de service varient du simple au quadruple, voire ponctuellement beaucoup plus.

Par ailleurs, le coût du nettoyage englobe parfois le coût du traitement des déchets récoltés (transports inclus) : ce coût représente généralement une part non négligeable, parfois majeure, du coût global de la pollution. La prise en compte de ce coût est nécessaire pour comparer différentes équipes dans la mesure où le volume et le type de déchets récupérés dépendent étroitement de la technique de collecte mise en œuvre (sélectivité).

L'estimation du dimensionnement des chantiers

Le nombre de moyens nécessaires et la durée d'un chantier sont deux éléments qu'il est difficile de définir avec précision à l'avance pour un site et une pollution donnés. Cependant, de façon à permettre le dimensionnement d'un chantier et de répartir au mieux les moyens disponibles, on peut se baser, en guise d'ordre de grandeur, sur les données suivantes (cf. encadré) qu'il conviendra de moduler une fois mieux connus, d'une part, les caractéristiques de la pollution et du site et, d'autre part, le savoir-faire des intervenants.

Aide au dimensionnement des chantiers

- **unité élémentaire** : équipe de 10 personnes avec un chef d'équipe ;
- **moyens de pompage/écrémage** : débit horaire ; prendre en moyenne un débit attendu moyen équivalent au 1/4 voir au 1/5 du débit instantané théorique afin de tenir compte des ruptures d'activité pour raisons diverses (pannes, déplacements...) ;
- **moyens traditionnels de pompage/ramassage** (agriculture, travaux publics, assainissement) :
 - personnel requis : prévoir 2 personnes au moins par engin (le conducteur + un assistant) uniquement affectées à ce dernier ;
 - rendement : (pompage : voir ci-dessus) **raclage/décapage** : l'évaluer en faisant le produit suivant : largeur balayée par la lame ou le godet x épaisseur de sédiment prélevée (niveleuse : 2-3 cm ; chargeur à godet sans raclette souple : 10-25 cm ; boueur : 20-50 cm ; pelle mécanique : 25-50 cm) x vitesse d'avancement de l'engin (variant entre 1 et 3 km/h). (Le résultat obtenu devant être modulé afin de tenir compte des arrêts divers d'activité sur le site : la règle du 1/4 ou du 1/5 peut être appliquée ici aussi) ;
- **lavage de rochers** : le rendement moyen d'un opérateur est très variable, allant de 1 à environ 50 m²/h selon la nature du polluant et celle du site et selon que l'on prenne en compte ou pas la préparation du matériel et du site, l'épandage éventuel du produit de lavage, la récupération des effluents. Compter 3 à 5 nettoyeurs à pression par équipe de 10 personnes et prévoir la rotation du personnel toutes les heures ou les deux heures selon le schéma suivant : 1 au lavage, 1 au dispositif de confinement récupération, 1 à la surveillance et alimentation en eau et au réglage des machines ;
- **ramassage manuel** : le rendement journalier moyen d'une équipe de 10 personnes opérant sur une plage de sable ne présentant pas d'entrave majeure au déplacement est, selon l'ampleur de la pollution et de la largeur de plage polluée, d'environ 100 à 300 mètres linéaires de plage (y compris l'évacuation des déchets en haut de plage). Le rendement journalier par personne varie selon le type de plage et de pollution entre 0,5 m³ et 2 m³ maximum.

La gestion des chantiers

- La définition du chantier ————— D1
- La sécurité des personnes et la sécurisation du chantier ————— D2
- Le respect de l'environnement ————— D3
- La maintenance du matériel ————— D4
- La gestion des déchets ————— D5
- Le suivi comptable des chantiers ————— D6

La définition du chantier

► Fiche G 01

Il s'agit là d'un aspect fondamental de l'intervention principalement destiné à assurer la sécurité des intervenants (et du public) et à prévenir les dommages au milieu et aux équipements.

Il convient notamment de prévenir les dégâts indirects de la pollution, c'est-à-dire ceux induits sur le milieu par l'intervention elle-même, en prenant les précautions requises pour protéger les sols des dégradations et du transfert de pollution.

Outre ces mesures de prévention et de protection, la gestion des chantiers englobe aussi toutes les procédures qui vont optimiser le travail et faciliter le bon déroulement des opérations relatives notamment à la définition, à l'organisation et au suivi des chantiers.

La gestion des chantiers inclut aussi la phase de démobilisation comprenant le nettoyage et la remise éventuelle en état des différentes aires d'activités et de leurs abords : les sites de chantier à proprement parler, les sites d'entrepôts de déchets, les points d'entreposage des équipements, les installations de vie (base-vie, ou simple cabane), etc. y compris les éventuels aménagements temporaires (accès notamment.) dès lors qu'ils peuvent à termes modifier la fonction du site.

Tous les chantiers requièrent de l'organisation et de la méthode, mais les conditions de travail (hygiène, confort et sécurité), les moyens humains et matériels, les contraintes logistiques et environnemen-

tales diffèrent selon les types de chantiers.

Il convient de distinguer au moins **trois types de chantiers** :

- le chantier **simple** (le ramassage manuel, par exemple) : le chantier ne présente normalement pas de risque réel en termes d'accès et de déplacement. Le travail ne requiert aucune technicité ni mécanisation, en dehors du soutien logistique ;
- le chantier **technique** (un chantier de pompage ou de lavage de rochers, par exemple) : le travail nécessite le recours à des techniques spécifiques et à des moyens mécanisés particuliers ; le site peut éventuellement présenter certaines difficultés d'accès ou de déplacement ;
- le chantier **spécifique** (intervention sur falaises ou sur nappes immergées, par exemple) : l'environnement du site et les conditions de travail présentent des risques évidents qui nécessitent le recours à des professionnels spécialisés et habilités à intervenir en ces secteurs à risques (cordistes ou plongeurs, par exemple).

Afin d'optimiser la réponse et de limiter les impacts sur l'environnement, il est nécessaire, avant de procéder aux opérations de nettoyage, de définir précisément :

- les techniques de nettoyage appropriées en fonction du type de littoral touché et du type d'arrivages ;
- les limites de l'intervention et le niveau de nettoyage (le recours à certaines techniques de nettoyage sur certains sec-

teurs sensibles peut être préjudiciable pour l'environnement) ;

- l'organisation générale du chantier, notamment la localisation des accès et des sites d'entreposage de haut de plage surtout en cas d'intervention en un site naturel.

Simple formalité pour les chantiers simples, cette action réclame une attention et des compétences proportionnelles à la technicité et spécificité du chantier. Elle nécessite alors le recours à des experts techniques et environnementalistes, et la présence de représentants de la commune et du gestionnaire du site (et de divers autres organismes éventuellement, assureurs, etc.) est aussi recommandée dans la majorité des cas. C'est d'ailleurs cette même équipe qui procèdera à la visite de fin ou de réception de chantier.



Chantier de nettoyage mécanique



Chantier de nettoyage avec cordiste



Chantier de nettoyage manuel

La sécurité du personnel et la sécurisation du chantier

► Fiche G 02

La **sensibilisation en matière de risques et de prévention** est à faire dès le commencement du chantier, et à rappeler autant que de besoin, notamment lors de chantiers de longue durée au moment des relèves des équipes ou d'une partie de celle-ci. Elle concerne tous les chantiers, même ceux non techniques, surtout si ces derniers se déroulent à proximité d'engins lourds dans la mesure où le personnel piéton, volontaire ou embauché, n'a généralement pas l'habitude de travailler en présence de ce type d'engins qui peuvent évoluer avec grande rapidité (et vice-versa pour les conducteurs d'engins).

► Fiche G 03

La sécurisation du chantier contribue grandement à la sécurité des individus (les opérateurs et le public). On veillera ainsi à :

- faire appel à des **opérateurs spécialisés professionnels** pour les chantiers spécifiques ;
- empêcher l'**accès du site** à toute personne étrangère au chantier ;
- réaliser le **balisage des aires de travail et des installations** ;
- respecter les **règles de sécurité** afférentes aux conditions de chantier en général et celles propres aux différents engins et techniques mis en œuvre.

Le code du travail s'appliquant aussi aux travaux de dépollution de littoral, plus particulièrement dès lors que la notion d'urgence impérieuse ou simple s'es-

tompe, le recours à un expert ou un coordinateur SPS (Sécurité et Protection de la Santé) peut alors, dans certaines situations s'imposer. Dans tous ces domaines, il pourra apporter une aide appréciable en matière de sécurisation du chantier dans les phases de conception, préparation et réalisation de celui-ci.

La sécurité du personnel suppose le respect de certaines mesures notamment les suivantes :

- le port de tenues adéquates ou **Équipements de Protection Individuelle (EPI*)** qui est obligatoire, et qui doit être rappelé en permanence, surtout pour les opérations présentant des risques réels ;
 - des espaces propres et abris (pauses, repas, vestiaire) ;
 - les dispositifs de décontamination
- **Fiche G 04** : la création de zones de décontamination ou de simple décrotage pour les hommes et aussi le matériel et les engins roulants afin de réduire le transfert de la pollution hors de la plage et aussi apporter un confort pour les intervenants.



Chantier avec balisage d'espace propre

Le respect de l'environnement

► Fiche G 06

On cherchera systématiquement à prévenir les effets néfastes liés à l'intervention à savoir :

- les **dégradations des sols** et des biotopes sensibles (dune, pelouse aérohaline, etc.) imputables à diverses actions mal gérées : circulation intense non contrôlée des piétons et des engins ; aménagements inutiles et mal venus (aplanissement du sol) ; implantation d'installations de chantiers (cabanes, moyens de lutte, réservoirs, etc.) ou de sites d'entreposage, en des lieux d'intérêt écologique (botanique, faunistique, géologique ou hydrologique) ;
- la **contamination des sols** par transfert de pollution à partir de la plage via les équipements souillés (bottes, roues, moyens de lutte) ou par débordement ou fuites des moyens de transfert et d'entreposage du polluant et des matériaux pollués.

Certaines actions permettent de respecter les **contraintes environnementales** afin de limiter l'impact de l'intervention sur le milieu :

- la préparation des sites d'entreposage et des installations de chantiers en haut de plage et en arrière-plage :
 - implantation à l'écart d'un site d'intérêt écologique ou patrimonial, choix de la localisation en fonction de la sensibilité de la végétation, protection contre les déversements ou fuites d'hydrocarbures, etc.

- l'identification par des experts botanistes ou environnementalistes des sites d'implantation des chantiers en regard de la sensibilité écologique du moment : un chantier pourra ainsi être déplacé de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres pour ne pas détruire une station d'espèces végétales protégées ou rares, ou décalé dans le temps en période de migration ou de nidification d'oiseaux, par exemple.
- la préparation des accès et des voies de cheminement et de circulation :
 - l'identification des accès adaptés et autorisés pour les différents engins (moyennant parfois un minimum d'aménagements de protection) ;
 - la canalisation de la circulation, piétonne et motorisée, afin d'éviter de souiller des espaces non affectés initialement par la pollution, notamment l'arrière-plage mais aussi parfois le bas de la plage, et de limiter la dégradation des sols et de leur couvert végétal, avec la pose, sitôt que nécessaire, d'une piste artificielle de roulement (simple géotextile, piste spécifique ou plaques) ;
 - le balisage, sur la plage, des aires à protéger de la circulation : en pied de dunes, par exemple, pour empêcher les cribleuses* et autres engins lourds de détruire la dune embryonnaire ;
 - l'élaboration d'un plan de circulation

- (avec guidage et fléchage) dès lors qu'un chantier ouvert en un site à capacité de circulation restreinte est appelé à s'installer dans la durée ;
- le recours à des engins légers de type quads munis de pneus à basse pression autorisant une circulation motorisée moyennant toutefois quelques précautions de conduite (vitesse réduite, giration lente, etc.) ;
 - le recours, dans des sites naturels sensibles dépourvus d'accès terrestre ou par la mer, à un portage des moyens de lutte à dos d'hommes ou par hélicoptère dans l'hypothèse d'une opération couplée (plusieurs chantiers, opportunité de présence) ;
 - le respect des éventuelles consignes locales de sauvegarde et de protection de site et de celles fournies par les experts lors de la définition des chantiers ;
 - le retrait du site de tous les déchets issus de l'implantation même du chantier (emballages et détritux divers) ;
 - la remise en état du site avant la démobilisation du chantier.



Protection des sols et balisage engins



Préparation accès au chantier de nettoyage

La maintenance du matériel

► Fiche G 06

Le chantier se déroule d'autant mieux que le matériel est et reste fiable et que les opérations de maintenance et de réparation sont possibles sur place.

Pour qu'un chantier se déroule correctement, il est nécessaire que les équipements qui y sont mobilisés fassent l'objet d'une attention minutieuse. Celle-ci doit se traduire non seulement par un repli et une mise à l'abri du matériel mais aussi par sa maintenance.

Il est donc primordial d'organiser la vérification des équipements et leur entretien régulier. Une panne pouvant pénaliser lourdement un chantier, il est nécessaire d'organiser leur réparation éventuelle.



Zone logistique contigüe à un chantier de nettoyage

La gestion des déchets

► Fiche G 07

L'importance des entreposages primaires de haut de plage ou d'arrière plage immédiate varie avec celles des chantiers. Cela va du simple point d'entreposage quotidien de quelques dizaines ou centaines de kilos (en vrac ou conditionnés en sacs, big bags ou bennes) au site plus important regroupant les déchets issus des points d'entreposage précédemment mentionnés et que l'on peut assimiler à un entreposage tampon primaire.

Tous ces entreposage tampon primaires ne peuvent être identifiés dans les plans d'urgence de type POLMAR*

POUR EN SAVOIR PLUS

Pour mener à bien cette phase primordiale de la lutte, on se reportera au guide rédigé par le Cedre :

Guide « Gestion des déchets
issus d'une pollution
accidentelle des eaux »

N'est abordée ici, en guise de rappel essentiellement, que la spécificité des sites de haut de plage ou d'arrière plage immédiate.



Site d'entreposage primaire

Le suivi comptable des chantiers

► Fiche G 08 et annexes

Ce suivi permet de récapituler les moyens humains et matériels mis en place sur les différents chantiers de nettoyage.

Pour ce faire, il est nécessaire de remplir à la fin de chaque journée, des fiches synthétisant les opérations menées et comptabilisant les moyens mis en œuvre, site par site (des exemples de fiches figurent en annexe).

Ces documents quotidiens constituent un point clé de la gestion de la lutte :

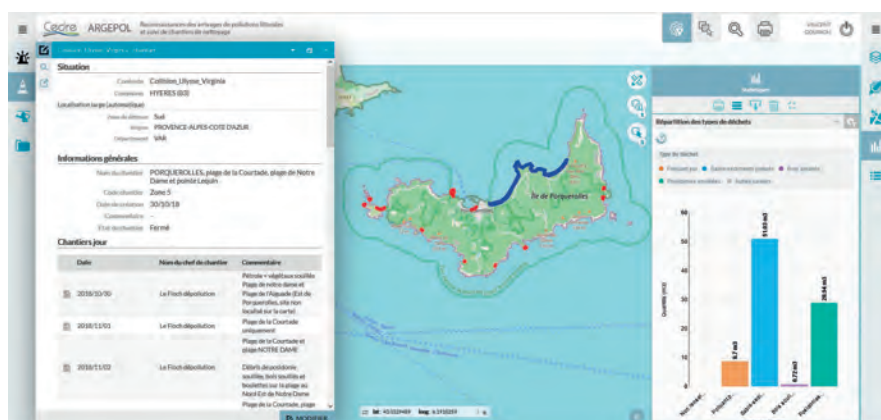
- **durant la crise**, leur exploitation fournit un outil de gestion et de communication appréciable en permettant d'avoir en permanence une vue globale des moyens humains et matériels utilisés sur les chantiers et de disposer à tout moment d'un historique, global ou détaillé, des chantiers (nombre, moyens utilisés) ;
- **après la crise**, ils constituent la base d'un retour d'expérience, de l'archivage et voire aussi de procédures d'indemnisation.

À noter qu'en France, un système informatisé de remontée et de traitement de l'information a été mis en œuvre par le Cedre lors de la pollution du *Prestige* (2002).

ARGEPOL* (Archivage et gestion de données dans le cadre d'une pollution littorale) permet de suivre la situation depuis l'observation de la pollution jusqu'à la restauration du littoral et même au-delà.

Il comptabilise précisément et quotidiennement le nombre de personnes mobilisées sur un chantier, leur origine, les travaux menés (techniques de nettoyages), ainsi que les matériels utilisés (le type de matériel, le nombre, leur origine). Il permet d'intégrer des documents multimédias associés à un chantier ou à une observation de pollution.

Il permet la réalisation de rapports et de cartes en mode automatisé à partir des données renseignées. Ces documents peuvent ensuite être insérés en pièces jointes dans le portail ORSEC* et constituer une source d'informations pour les autorités.



Capture d'écran d'ARGEPOL*

Fiches descriptives

Les différentes techniques de phase 1 et de phase 2 font l'objet de fiches de synthèse. Il en est de même pour les mesures, soit de protection qu'il est recommandé de mettre en place avant l'arrivée de la pollution, soit d'organisation et de sécurité qu'il convient de suivre pour permettre le bon déroulement du chantier et de l'ensemble de l'intervention.

Ces fiches sont regroupées en 3 lots :

- les fiches **P** : les **techniques de protection du littoral** (autres que par barrages flottants) (de ► **Fiche P 01** à **P 05**) ;
- les fiches **N** : les **techniques de nettoyage** de phase 1 et de phase 2 (de ► **Fiche N 01** à **N 27**) ;
- les fiches **G** : les **mesures de gestion des chantiers** relatives à la sécurité des personnes, à la protection de l'environnement, à l'organisation des chantiers et à la gestion des déchets (de ► **Fiche G 01** à **G 08**).

Pour ce qui concerne les techniques de nettoyage, les fiches mentionnent plus particulièrement les principales caractéristiques, procédures, limites et contraintes suivantes :

- **le(s) domaine(s) d'utilisation** : le(s) type(s) de substrat(s) concerné(s), les type(s) de pollution (ampleur) et de polluant (viscosité) et le type de littoral (mer avec ou sans marée) ;
- **les moyens nécessaires** précisant les équipements de base et les moyens annexes indispensables ou favorables à leur mise en œuvre ;
- **la présentation**, à savoir la description, les principes et but de la technique ;
- **les conditions d'utilisation** correspondant aux facteurs favorables ou limitants, inhérents aux caractéristiques de la pollution (et du polluant), du substrat et du site (conditions environnementales au sens large) ;
- **les impacts sur le milieu** : les effets néfastes potentiels, physiques et biologiques, de la technique ;
- **les performances** : le rendement moyen, le personnel requis, les types de déchets engendrés ;
- **les observations diverses à considérer** : remarques, conseils et recommandations d'ordre technique ou d'ordre organisationnel.

Fiches descriptives

- Principales techniques de protection du littoral (autres que par barrages flottants) — **E1**
- Principales techniques de nettoyage (phase 1 et phase 2) — **E2**
- Mesures de gestion des chantiers de nettoyage — **E3**

Principales techniques de protection du littoral (autres que par barrages flottants)

-
- **Fiche P 01** Protection des chenaux et des étiers par filets et barrières filtrantes
 - **Fiche P 02** Protection des chenaux et des étiers par obturation
 - **Fiche P 03** Protection des prises d'eau par filtration
 - **Fiche P 04** Captage dans l'eau par « filets serpillère » ou écheveaux absorbants sur corde
 - **Fiche P 05** Protection par tapis de rive
-

Protection des chenaux et des étiers par filets et barrières filtrantes

Domaine d'utilisation

Substrats : marais, vasière

Pollution : tous types

Polluant : viscosité forte à très forte

Mer : avec et sans marnage



Barrière à paille



Barrière à coquille d'huîtres

Moyens nécessaires

- cas 1 : filets à maille fine, pieux
- cas 2 : grillage (à poule ou plastique) ou filet à maille fine (à civelles, échafaudage etc.)
- cas 3 : géotextiles filtrants

- madriers pieux
- raidisseurs (filins, etc.)
- matériaux adsorbants (paille, coquilles, etc.)

Moyens annexes :

- pelle mécanique
- lances à eau (forçage des pieux en eau)
- tire-fort

Description/Principe

Consiste à mettre en place des dispositifs improvisés permettant de retenir les amas de polluant les plus grossiers circulant dans la colonne d'eau afin d'éviter la pollution du marais et surtout celle des bassins d'exploitation (saliculture, ostréiculture, etc.) qu'il abrite. Le type de dispositif varie selon l'enjeu et le type de chenal. Il peut s'agir selon le cas :

- cas 1 : chenal étroit : d'un simple filet droit ou oblique, à maille fine (5 à 8 mm), muni de flotteur et lesté, amarrés à la berge, positionné en oblique, en épi ou en chevron selon l'intensité du courant. Des filets successifs positionnés à différentes hauteurs peuvent aussi être envisagés. Une chaîne de lest au bas du filet joue le rôle de soupape de décharge : en cas de surpression (par augmentation du courant ou colmatage par des déchets divers) elle se soulève momentanément ;
- cas 2 : chenal plus large : d'une barrière filtrante correspondant à une structure porteuse double (pieux, madriers, filins métalliques raidisseurs) renfermant des matériaux filtrants (paille, coquilles d'huître, etc.) maintenus par un filet et un grillage (métallique ou plastique) ;
- cas 3 : sites microtidaux à faibles courants : des géotextiles filtrant sélectifs (laissant passer l'eau mais pas l'hydrocarbure) maintenus verticalement à l'aide de piquets

Ces dispositifs supposent une maintenance importante (tenue du dispositif et relevage du polluant et des matériaux souillés). Un même chenal peut éventuellement être barré par une succession de dispositifs de divers types.

Conditions d'utilisation

Pollution : polluants visqueux de type fioul lourd

Substrat : berges portantes

Site : marais

Impact sur le milieu

Physique : modification ponctuelle des conditions hydrologiques ; possible création de turbulences en certains points avec affouillements * éventuels selon intensité du courant et taille de la veine d'eau

Biologique : risque de piégeage de poissons dans le dispositif si fermeture sur toute la colonne d'eau

Performances

Rendement : variable selon le type de protection, les caractéristiques du chenal (largeur, courant, éloignement, sensibilité environnementale)

Mise en œuvre : variable selon type de protection (idem pour la maintenance de la protection et la récupération de l'hydrocarbure)

Déchets : polluant, filets et matériaux filtrants divers souillés

Observations

- efficaces sur polluant visqueux de type fioul lourd, nettement moins efficaces sur polluant léger surtout en présence de courants intenses ; ne filtrent pas les fractions dissoutes

Protection des chenaux et des étiers par obturation

Domaine d'utilisation

Substrats : marais, vasière

Pollution : tous types

Polluant : fluide à fortement visqueux

Mer : avec et sans marnage



Barrage à empièchement non busé



Barrière de gabions



Héliportage de big bag de sable

Moyens nécessaires

Équipement de base :

- matériaux de fermeture
- buses à clapets

Description/Principe

Consiste à barrer un chenal afin d'éviter la pollution du marais et/ou des bassins d'exploitation (saliculture, ostréiculture, etc.) qu'il abrite en arrière. Dans les mers à marée ces chenaux sont soumis à de forts courants, d'autant que le plan d'eau ou réseau amont est parfois très important.

La fermeture du chenal, qui affecte la totalité de la veine d'eau, est réalisée à l'aide de matériaux divers (vase, terre, pierres, etc.). Le type de dispositif varie selon l'enjeu et le type de chenal : il peut s'agir d'une obturation complète mais un barrage busé est préférable, surtout en sites sensibles d'intérêt écologique ou d'importance économique (aquaculture) car il assure en permanence le passage des eaux et donc le maintien du cycle 'immersion-émersion' et de la salinité de l'eau.

Ces dispositifs supposent une maintenance importante (tenue du dispositif et relevage du polluant et des matériaux souillés). La protection de plans d'eau importants requiert des dispositifs plus résistants, construits à l'aide de big bags remplis de sable, juxtaposés voire empilés les uns sur les autres ; leur remplissage se faisant sur site s'il est accessible aux engins lourds, sinon hors site via une opération d'héliportage. Une variante encore plus résistante existe : des big bags contenus dans des gabions métalliques pliables juxtaposés ; leur remplissage se faisant sur site une fois les gabions positionnés.

Ces dispositifs supposent une maintenance quotidienne (retrait systématique du polluant et des débris pollués bloqués).

Conditions d'utilisation

Pollution : polluants de toutes viscosités

Substrat : berges portantes

Site : marais

Impact sur le milieu

Physique : modification ponctuelle des conditions hydrologiques ; possible création de turbulences en certains points selon l'intensité du courant, la taille de la veine d'eau, du busage

Biologique : altération des conditions hydriques locales (immersion, salinité) ; risque d'inondation en arrière si obturation complète en période de crue ou de fortes pluies ; entrave à la circulation des poissons

Performances

Rendement : non approprié

Mise en œuvre : variable selon type de protection (idem pour la maintenance de la protection et la récupération de l'hydrocarbure)

Déchets : polluant, débris pollués et matériaux souillés

Observations

- efficaces sur polluants fluides à très visqueux
- l'obturation complète (sans buse) : elle ne peut être envisagée au-delà de 5 à 6 jours sans risque d'impact écologique dans le marais suite à immersion permanente et une dessalure croissante préjudiciable pour la flore et la faune. Pour pallier cet inconvénient, deux possibilités : la destruction régulière du merlon* (puis sa reconstruction) ou le recours à un système de buses à clapets (busage)
- le busage : les buses à clapets traversent le merlon* de terre et doivent être dimensionnées, en nombre et en diamètre au débit du chenal. De tels édifices ne sont à envisager que sur des petits chenaux car ils s'avèrent coûteux pour les étiers de grandes largeurs qui nécessitent l'intervention de sociétés spécialisées
- En cas de menace de pollution, les matériaux de fermeture peuvent être pré-positionnés, en attente de l'arrivée réelle du polluant.

Protection des prises d'eau par filtration

Domaine d'utilisation

Substrats : marais, vasière

Pollution : tous types

Polluant : viscosité forte à très forte

Mer : avec et sans marnage



Cartouche filtrante (structure grillagée)

Moyens nécessaires

Équipement de base :

- grillage (métallique ou plastique)
- absorbants synthétiques oléophiles*
- coquilles concassées d'huître, paille

Description/Principe

Consiste à munir les prises d'eau d'alimentation (de type gravitaire) de bassins d'exploitation (saliculture, ostréiculture, etc.) d'une cartouche de filtration improvisée faisant office de bouchon filtrant.

Des systèmes sophistiqués peuvent être conçus, dimensionnés et adaptés aux caractéristiques de la prise d'eau (dimension, débit) et de la qualité de filtration requise en fonction de la sensibilité de l'exploitation (bassin ostréicole, salicole, ou aquacole).

Le dispositif de base pour une prise d'eau individuelle de 20 à 50 cm de diamètre est une cartouche filtrante. Il s'agit d'une enveloppe grillagée (grillage à poule ou plastique), façonnée aux dimensions et à la forme de la buse ou de la caisse d'alimentation en eau, et remplie de matériaux filtrants et absorbants.

Le matériau filtrant doit être adapté aux enjeux (paille, coquilles d'huîtres pour une retenue grossière ; absorbants oléophiles* pour une meilleure filtration) et être renouvelé sitôt que nécessaire.

Pour éviter le colmatage de l'unité de filtration en aval (macrodéchets, algues, etc.), il convient de disposer un filet droit en avant de la prise d'eau.

Conditions d'utilisation

Pollution : polluant moyennement fluide à fortement visqueux

Substrat : non approprié

Site : non approprié

Impact sur le milieu

Physique : non approprié

Biologique : non approprié

Performances

Rendement : non approprié

Mise en œuvre : variable selon type de prise d'eau (idem pour la maintenance et la récupération de l'hydrocarbure)

Déchets : polluant, matériaux filtrants divers souillés

Observations

- efficace sur polluant visqueux de type fioul lourd, nettement moins efficaces sur polluant léger, et pas du tout sur fractions dissoutes
- Pour faciliter la pose et le retrait de la cassette de filtration en tête de buse, et l'empêcher de pénétrer à l'intérieur, prévoir un « bouchon » de forme tronçonique

Captage dans l'eau par « filets serpillière » ou écheveaux absorbants sur corde

Domaine d'utilisation

Substrats : tous types

Pollution : faible à forte

Polluant : viscosité forte à très forte

Mer : avec et sans marnage



Pose de filets de captage sur estran* à marée basse



Écheveaux adsorbants sur corde flottante

Moyens nécessaires

Équipement de base :

- filets
- big bags ou blocs, parpaings

Moyens annexes :

- pelle mécanique (ensouillage)

Description/Principe

Cette technique repose sur la capacité qu'ont certains matériaux (filets à maille fine, écheveaux adsorbants) à capturer des amas de polluant visqueux. Deux procédés peuvent être envisagés (à tester au préalable selon le polluant et le site).

Les filets de captage ou « filets serpillières » : ancrés en une seule extrémité, ils suivent les mouvements de l'eau et récupèrent les boulettes qu'ils rencontrent dans la masse d'eau qu'ils balaient. La taille dépend de l'efficacité du filet - étroitement liée à la structure plus ou moins rigidifiée du matériau- et est à adapter au site : elle varie de 8 à 20 m de long pour 1 à 5 m de large. Ils sont installés au-dessus du niveau de mi-marée (variable selon la hauteur de la marée du moment), de façon à ce qu'ils émergent partiellement à marée haute. L'ancrage se fait à marée basse à l'aide d'un corps mort improvisé ou, mieux, à l'aide d'un big bag rempli de sable que l'on ensouille à l'aide d'un tractopelle. Cette technique peut être utilisée de diverses façons :

→ 1 : en mode curatif, pour récupérer les hydrocarbures libérés lors d'une opération de *surfwashing** : les filets, positionnés, en amont des tas de sédiments déposés, sont retirés dès la marée suivante. C'est dans cette situation qu'ils sont les plus efficaces ;

→ 2 : en mode préventif, en vue de capter d'éventuels arrivages de boulettes. Dans ce cas, il faut assurer la maintenance du dispositif sur une plus longue période : vérification de la solidité des attaches, repositionnement en fonction de la marée, renouvellement des filets souillés, etc. Cet effort peut être disproportionné au regard du volume de polluant récolté, et devenir très vite difficilement gérable quand il est envisagé sur une longue durée et à une vaste échelle, sur une pollution très diffuse dont l'arrivée est aléatoire. L'efficacité n'est pas permanente (positionnement inadéquat à cause des variations de hauteur de marée, enfouissement des filets, lessivage des filets souillés non renouvelés). Enfin il peut exister un risque pour la navigation en cas de dérive d'un filet arraché.

→ 3 : sur un littoral microtidal* (sans marée ou à très faible marnage), ce dispositif de filets mais montés sur corde peut aussi être envisagé en contexte préventif : une ligne unique de filets plus courts préalablement assemblée sur la plage peut être ancrée à l'aide de big bags à quelques mètres du bord.

Alternative : les écheveaux adsorbants (ou pom-pom) sur corde flottante : une corde flottante équipée d'écheveaux absorbants est fixée en bordure d'eau à l'aide de piquets. Dispositif, simple à mettre en œuvre mais supposant la présence permanente d'opérateurs ; envisageable surtout sur un littoral de type microtidal*.

Conditions d'utilisation

Pollution : polluants visqueux de type fioul lourd

Substrat : tous

Site : littoraux macrotidaux : filets capteurs (cas 1 et 2) ; littoraux microtidaux : filets capteurs (cas 3) et écheveaux sur corde

Impact sur le milieu

Physique : néant

Biologique : néant

Performances

Rendement : variable selon le mode d'utilisation, le type de polluant (faible sur hydrocarbure léger)

Mise en œuvre : 2 à 3 personnes minimum (idem maintenance)

Déchets : filets très fortement à faiblement pollués

Observations

- très efficaces sur polluant visqueux collant de type fioul lourd
- nettement moins efficaces sur polluant léger, voire pas du tout sur les sites relativement exposés

Protection par tapis de rive

Domaine d'utilisation

Substrats : tous types (abrités)

Pollution : moyenne à forte

Polluant : viscosité moyenne à forte

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- filets, bâche plastique, géomembrane

Moyens annexes :

- dispositif et outillage de fixation : pistolet, piquets, masse, etc.

Description/Principe

Consiste à déployer des membranes géotextiles pour protéger le littoral de la pollution. Il s'agit d'installer, en prévision de l'arrivée de la pollution, des bâches plastiques ou géotextiles au niveau de la haute mer. L'hydrocarbure venant s'y déposer est ainsi y est raclé, ou est prélevé ultérieurement avec la membrane.

→ Sur plage de type mésotidal* : la bâche est maintenue à l'aide de piquets puis les bords sont enfouis dans le sédiment (efficacité et tenue limitées). La jonction entre les différentes longueurs peut être réalisée par un simple surplis de recouvrement. Suppose des linéaires importants pour être efficaces.

→ Sur quais : installation plus aisée, notamment sur site de type microtidal* ; elle trouve surtout son utilité dans les sites à risques pétroliers (quai, terminaux, etc.).

Il s'agit d'une protection temporaire dont l'efficacité repose sur la mise en place d'une maintenance continuelle (fixation, déchirure, étanchéité, etc.).

Cette technique peut aussi être momentanément mise en œuvre sur un site nettoyé (enrochements en haut niveau, par exemple), en cas de menace de nouveaux arrivages.

Conditions d'utilisation

Pollution : modérée à forte : hydrocarbure de tous types

Substrat : tous types, de structure plane verticale à pentue

Site : côte à faible marnage de préférence et peu exposée aux vagues ; compatible avec déploiement aisé de bâches

Impact sur le milieu

Physique et biologique : très limitée à nulle (présence temporaire) ; empêche ou limite fortement la souillure du sédiment

Performances

Rendement : temps de déploiement/fixation variable

Déchets : hydrocarbure frais, bâches et géomembranes souillées

Observations

- durée éphémère du dispositif
- lourde maintenance à assurer (fixation, étanchéité, repositionnement, etc.)
- ne peut concerner que des sites de faible exposition. Il est ainsi illusoire de vouloir protéger des enrochements directement exposés aux vagues, par exemple
- fort risque d'arrachage par la mer créant un danger pour la navigation (bâches à la dérive)
- entraîne une importante quantité de géomembrane, plus ou moins souillées à traiter

Principales techniques de nettoyage (Phase 1 et Phase 2)

- ▶ Fiche N 01 « Ne rien faire » ou nettoyage naturel
- ▶ Fiche N 02 Ecrémage*/Pompage en bordure d'eau
- ▶ Fiche N 03 Pompage sur estran* (en fosse ou en merlon*)
- ▶ Fiche N 04 Raclage par engin de travaux publics
- ▶ Fiche N 05 Criblage par engin spécifique
- ▶ Fiche N 06 Relevage/Adhérence par engin spécifique
- ▶ Fiche N 07 Ramassage manuel
- ▶ Fiche N 08 Jets d'eau à basse pression (*flushing**)
- ▶ Fiche N 09 Saturation du sédiment (fontaine d'eau ou *flooding**)
- ▶ Fiche N 10 Descente de sédiments dans la zone de déferlement (*surfwashing**)
- ▶ Fiche N 11 Brassage immergé
- ▶ Fiche N 12 Confinement et récupération des effluents sur l'eau
- ▶ Fiche N 13 Confinement et récupération des effluents sur l'estran*
- ▶ Fiche N 14 Décaissement de sédiments
- ▶ Fiche N 15 Drainage
- ▶ Fiche N 16 Hersage
- ▶ Fiche N 17 Lavage à l'eau chaude à haute pression (avec ou sans produit)
- ▶ Fiche N 18 Lavage en bac dégrilleur
- ▶ Fiche N 19 Lavage en cabine
- ▶ Fiche N 20 Lavage en bétonnière
- ▶ Fiche N 21 Lavage en toupie à béton
- ▶ Fiche N 22 Lavage en installation fixe
- ▶ Fiche N 23 Prélèvement d'un sédiment en vue d'un traitement ex-situ
- ▶ Fiche N 24 Chantier botanique
- ▶ Fiche N 25 Fauche de la végétation
- ▶ Fiche N 26 Scarification
- ▶ Fiche N 27 Biorestauration

« Ne rien faire » ou nettoyage naturel

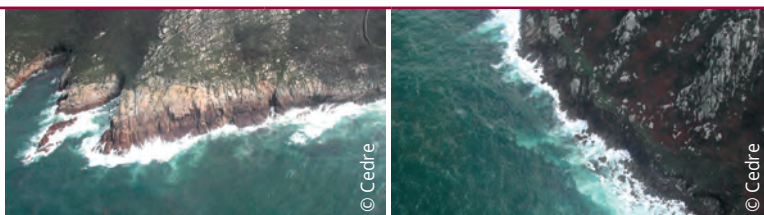
Domaine d'utilisation

Substrats : tous types

Pollution : faible à modérée

Polluant : tous types

Mer : avec ou sans marnage



Falaise

Moyens nécessaires

Équipement de base :
Non approprié

Description/Principe

Le nettoyage naturel résulte de l'activité nettoyante des processus naturels physiques et biochimiques en action sur le littoral, notamment l'énergie des vagues et des courants, la fixation des hydrocarbures sur particules organiques, l'activité des bactéries et des micro-organismes, la photo-oxydation, etc.

Cette option « ne rien faire » ou la non-intervention doit être considérée au même titre qu'une technique. Elle doit être envisagée systématiquement en cas de pollution faible de certains sites où l'intervention risque d'entraîner plus de dommages que l'hydrocarbure seul en raison de la sensibilité écologique des biotopes concernés (marais par exemple). Elle est d'autant plus justifiée pour un site peu souillé à forte potentialité d'auto-nettoyage et qui présente un risque pour la sécurité du personnel (promontoire rocheux extrêmement battus par les vagues, par exemple). L'usage et la fonction du site, sa fréquentation par l'homme et les animaux, au moment de la pollution et dans le futur immédiat, sont autant de paramètres à prendre en compte pour décider d'intervenir ou pas.

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types de polluant (dès lors qu'il s'agit d'une pollution de faible ampleur)

Substrat : tous types

Site : très exposé, ou d'accès trop difficile, ou écologiquement trop fragile

Impact sur le milieu

Physique : en cas de fortes accumulations ponctuelles, risque de formation à terme d'encroûtements de galets, par exemple, qui perdent ainsi leur rôle d'amortisseur des vagues, et donc leur rôle de protection contre l'érosion

Biologique : la persistance des effets toxiques de l'hydrocarbure ne doit pas être sous-estimée ; ces derniers d'une durée variable doivent être comparés à ceux causés par une intervention

Performances

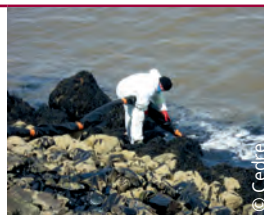
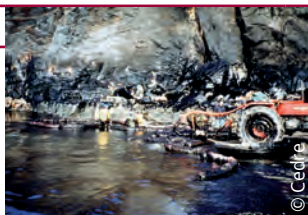
Rendement : non approprié

Déchets : non approprié

La persistance du polluant est principalement fonction de sa nature, du niveau de piégeage/infiltration/enfouissement, du degré d'exposition du site aux vagues et autres agents de vieillissement des hydrocarbures

Observations

- souvent la meilleure solution en certains sites sensibles
- ne concerne que des pollutions de faibles ampleurs
- suppose la reconnaissance du site affecté et le suivi de la pollution
- ne pas sous-estimer la persistance de certains polluants, ni surestimer l'efficacité du nettoyage naturel, notamment quand ils ont été projetés à des niveaux élevés, rarement atteints par la mer.
- se renseigner sur les utilisations socio-économiques (tourisme, loisirs, etc.) et les éventuelles fonctions écologiques (frayère, reposoir, nidification, etc.) du site au cours de l'année (saisonnalité) et évaluer si l'une de celles-ci risquent d'être perturbée par la présence de traces de pollution, ne serait-ce que ponctuellement

Ecrémage/Pompage en bordure d'eau**Domaine d'utilisation****Substrats** : tous types**Pollution** : forte à très forte**Polluant** : tous types (pompable)**Mer** : avec ou sans marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- récupérateur, tête d'écémage
- pompe, tonne à vide
- capacités d'entreposage

Moyens annexes :

- barrage flottant
- barrage de chantier, barrage absorbant
- petite embarcation (éventuellement)

Description/Principe

Consiste à écrémer/pomper, à partir de la plage, de grosses accumulations flottantes en bord de plage à l'aide de moyens de pompage (pompes, tonnes à vide) équipés d'un écrémeur flottant, d'une tête d'aspiration flottante ou d'un simple embout aplati.

Les hydrocarbures doivent être confinés dans un barrage flottant, éventuellement échouable. Le confinement peut consister en un barrage mis en épi oblique pour intercepter les nappes dérivantes (bien choisir le site en fonction de la dérive et des possibilités d'entreposage) ou en un barrage de confinement encerclant la nappe pour l'empêcher de repartir d'une crique par exemple. Sur les sites à marnage faible, un barrage disposé en préventif le long de la ligne d'eau sur un site peu exposé, peut empêcher le polluant de s'échouer tout en permettant le pompage.

Le polluant doit être en permanence rabattu vers la tête d'aspiration à l'aide de barrages légers de chantier, à partir d'une petite embarcation, si nécessaire.

Conditions d'utilisation**Pollution** : hydrocarbures pompables ; arrivage massif ou forte pollution**Substrat** : bonne portance ; accessibilité pour l'amenée du matériel sur la plage**Site** : accessible à tracteur agricole, engins TP, camion d'assainissement. Mettre à profit si possible, le courant de dérive littorale pour canaliser l'hydrocarbure vers un fossé ou un barrage**Impact sur le milieu****Physique et biologique** : faibles à modérés liés au trafic d'engins sur la plage, et à un éventuel transfert de pollution ; potentiellement fort en cas de creusement de fosse d'entreposage en haut ou arrière plage**Performances**

Rendement : variable (de quelques m³ à quelques dizaines de m³/h) selon le moyen de pompage/écémage utilisé et la viscosité du polluant. Tabler entre le 1/4 et le 1/5 du débit théorique affiché afin de prendre en compte les nombreux temps morts inévitables (désamorçage, blocage, macrodéchets, agitation du plan d'eau, etc) et les pertes de charges dues à la viscosité du polluant et la hauteur et la longueur d'aspiration ou de refoulement

Personnel minimum requis : 2 à 3 personnes par ensemble de récupération/entreposage**Déchets** : hydrocarbure plus ou moins émulsionné ; polluant avec eau libre ; sédiments et débris divers en quantité très variable selon le moyen utilisé et le lieu de prélèvement**Observations**

- rechercher la sélectivité : rechercher la concentration des nappes au niveau de l'aspiration
- le cassage de l'émulsion, par l'injection en ligne d'un produit désémulsifiant, peut être envisagé à ce stade sur la plage, dès lors que des tests en ont démontré l'intérêt (faire attention à l'éventuelle toxicité du produit qui peut en outre se retrouver dans l'eau décantée – dans ce cas, ne pas la rejeter dans l'environnement)
- veiller à l'adéquation des performances de la pompe avec les caractéristiques du polluant et du site
- mettre en place un dispositif de protection des substrats (bâches) afin de limiter le transfert de pollution
- envisager la nécessité d'un repli éventuellement quotidien de tous les équipements hors de la plage en fonction des caractéristiques du site et des conditions marégraphiques du moment
- prévoir l'évacuation des capacités d'entreposage (on privilégiera les capacités spécifiques aux fosses)

Pompage sur estran* (en fosse ou en merlon*)

Domaine d'utilisation

Substrats : sables

Pollution : forte à très forte

Polluant : fluides à peu visqueux

Mer : avec ou sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- pompe
- tonne à vide
- capacités d'entreposage

Moyens annexes :

- pelle mécanique (création fosse, merlon*)
- bâche plastique, géotextile (protection)
- engin à lame frontale avec raclette caoutchouc
- racloirs manuels (type agricole)

Description/Principe

Consiste à pomper les accumulations d'hydrocarbure concentrées dans des points de collecte réalisés sur l'estran* :

→ cas 1 : en sa partie médiane, dans un barrage échouable ou en un merlon* si l'estran* est en pente, en cuvettes peu profondes si l'estran* est subhorizontal ;

→ cas 2 : en sa partie haute, en un fossé avec merlon*.

Dans le premier cas, l'hydrocarbure fluide est raclé mécaniquement (bande de caoutchouc montée sur une lame ou un godet, chasse-neige) ou manuellement (racloirs agricoles type racloirs courbes d'étable) vers des fossés d'environ 0,5 m de profondeur (protéger fond et bords à l'aide d'une bâche).

Dans le second cas, un fossé est creusé à marée basse le long de la ligne de haute mer du jour, le sable prélevé formant alors un merlon* de protection côté terre, le fossé est recouvert d'une bâche.

Conditions d'utilisation

Pollution : hydrocarbure pompable de faible à moyenne viscosité - forte pollution

Substrat : sable fin tassé, bonne portance, épaisseur de sédiments suffisante (pour fosses/merlons*)

Site : accessible aux engins TP et agricoles ; plage à très large estran* (cas 1) ; petite plage peu exposée (cas 2)

Impact sur le milieu

Physique : creusement des fossés : risque de formation temporaire de sables mouvants après comblement lors des marées suivantes

Biologique : effets toxiques à long terme si le polluant persiste dans les fossés après comblement (suite à éboulements - protéger la fosse autant que faire se peut à l'aide de bâche pour limiter ce risque) sinon perturbation temporaire, recolonisation à terme

Performances

Rendement : variable selon moyen de pompage utilisé

Personnel minimum requis : 2 à 3 personnes par moyen de pompage ; plus si raclage manuel

Déchets : polluant plus ou moins chargé en sable

Observations

- cas 1 : à n'envisager qu'en cas de pollution majeure par un polluant fluide et uniquement sur un estran* découvrant très largement
- cas 2 : mise en œuvre peu aisée : bien évaluer le niveau de la haute mer du jour et l'état de la mer ; protéger les merlons* et fossés à l'aide d'une bâche plastique afin d'empêcher l'éboulement des merlons* et de limiter le mélange sable/hydrocarbure dans les fossés
- curer les fossés et retirer les bâches avant de quitter le chantier
- le pompage à l'aide de tonnes à vide est le mieux approprié : prévoir des tonnes ouvrières (vidange sable)
- le cassage de l'émulsion, par l'injection en ligne d'un produit désémulsifiant*, peut être envisagé à ce stade sur la plage, dès lors que des tests en ont démontré l'intérêt (faire attention à l'éventuelle toxicité du produit qui peut en outre se retrouver dans l'eau décantée - dans ce cas, ne pas la rejeter dans l'environnement)

Raclage par engin de travaux publics

Domaine d'utilisation

Substrats : sables

Pollution : très forte

Polluant : fluides à peu visqueux

Mer : avec marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- tracteur ou chargeur à lame frontale

Moyens annexes :

- chargeur à godet frontal (évacuation)
- lame frontale pourvue d'une raclette caoutchouc de type chasse neige

Description/Principe

Consiste à concentrer le polluant de façon à faciliter son retrait de la plage. Le raclage se fait à l'aide d'un tracteur ou d'un engin de TP pourvu d'une lame frontale en position oblique. Selon la viscosité du polluant, deux cas sont possibles :

- cas 1 : polluant fluide : raclage rayonnant ou convergeant vers un point de collecte sur l'estran* puis évacuation par pompage/aspiration ;
- cas 2 : polluant plus visqueux : concentration sous la forme d'andains*, par passes successives parallèles à la ligne d'eau, en léger tuilage ; évacuation des andains* par chargeur à godet.

Conditions d'utilisation

Pollution : forte pollution, nappe continue, hydrocarbure fluide à peu visqueux

Substrat : vaste estran* de sable fin mouillé (très humide à saturé), plan, bonne portance, dépourvu de rides de surface marquées (*ripple-marks*)

Site : accessible à engins TP, suffisamment vaste pour permettre les manœuvres

Impact sur le milieu

Physique : ne concerne normalement que le polluant mais également l'enlèvement éventuel de sédiments (si chauffeur mal encadré ou inexpérimenté), et surtout si mise en œuvre sur faible pollution ou sur site non adapté ; fort risque de perturbation due à la circulation et malaxage de l'hydrocarbure avec le sédiment

Biologique : perturbation limitée (sauf si prélèvement sédimentaire exagéré et malaxage important)

Performances

Rendement : variable

Personnel minimum requis : 2 personnes par engin (1 conducteur + 1 assistant)

Déchets : hydrocarbure plus ou moins chargé en sédiment

Observations

- uniquement sur pollution forte ; ne pas utiliser sur pollution moyenne à faible (technique plus du tout sélective).
- fenêtre d'utilisation étroite
- informer, et encadrer les opérateurs ; faire appel à de bons chauffeurs
- limiter la circulation sur la plage afin de limiter le malaxage de l'hydrocarbure dans le sédiment :
 - canaliser la circulation sur la plage
 - procéder à un raclage de manière méthodique, par passes longitudinales juxtaposées
- le godet du chargeur évacuateur ne doit être rempli qu'au 2/3 maximum afin d'éviter des déversements lors du transport
- veiller à la sécurité du chantier

Criblage par engin spécifique

Domaine d'utilisation

Substrats : sables

Pollution : très forte

Polluant : fluides à peu visqueux

Mer : avec marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- cribleuse* (grande et petite)
- tracteur

Moyens annexes :

- tracteur à godet (évacuation)

Description/Principe

Consiste à cribler la couche superficielle de la plage en vue de prélever de manière sélective les amas de polluants et débris divers souillés. Cette technique est réalisée à l'aide des cribleuses* couramment utilisées pour le nettoyage des plages. Deux tailles d'engins sont disponibles : les grandes cribleuses*, généralement tractées par un tracteur agricole, et les petites cribleuses* autotractées. Le principe de fonctionnement des grandes cribleuses* est le suivant : une lame d'attaque vibrante éventuellement complétée par un pick-up à griffes s'enfonce dans le sédiment pour en prélever la couche superficielle qui est poussée sur un tapis convoyeur ajouré où s'effectue le criblage ; les éléments supérieurs à la taille du tamis sont déversés en fin de course dans un bac de réception.

Les petites cribleuses* qui fonctionnent selon un principe similaire, à des rendements évidemment moindres, sont pourvues de mailles plus fines (de 5 à 15 mm contre de 15 à 28 mm pour les grandes) et atteignent des profondeurs moindres (5 cm contre 20 cm pour les grandes). Elles permettent des travaux de criblage plus fins notamment dans les secteurs non accessibles aux grandes cribleuses*.

Conditions d'utilisation

Pollution : exclusivement sur amas parsemés de polluant visqueux (boulettes à galettes) et débris souillés ; en phase de nettoyage fin mais aussi de collecte grossière moyennant des adaptations du matériel et de la conduite

Substrat : sable homogène pas trop grossier, dépourvu d'éléments de grandes tailles (galets, coquilles) en nombre important ; sable foisonnable (peu humide à sec) ; portance bonne à moyenne

Site : accessible à des engins agricoles ; suffisamment vaste et sans entrave pour manœuvre aisée

Impact sur le milieu

Physique : en cas de mauvaise utilisation : retrait potentiel disproportionné de sédiments propres ; déstructuration et déstabilisation des pieds de dune (haut de plage) ; érosion à terme

Biologique : faible impact sur la faune psammophile peu sensible du sable sec. Mais potentiellement fort en cas mauvaises pratiques ou d'utilisation exagérée : destruction de la dune embryonnaire et des banquettes végétales pionnières de pieds de dunes, appauvrissement de la biodiversité et de la fertilité par retrait de la laisse de mer*

Performances

Rendement : variable selon les sites, la pollution, les machines, les conducteurs ; des passages répétés sont généralement nécessaires ; pour les grandes cribleuses* : $\frac{1}{4}$ [(vitesse de travail (de 0,3 à 3 km/h) x largeur moyenne de travail (#2m) x profondeur de travail réglable 0 - 20 cm]

Personnel minimum requis : 1 conducteur

Déchets : déchets solides divers, boulettes, galettes d'hydrocarbure avec petite quantité de sable adhérent ; teneur globale en hydrocarbures : au moins 20 % (mais très nettement inférieure en cas de mauvaises pratiques)

Observations

- équipement largement disponible, notamment en secteurs à fréquentation touristique
- nécessite des tracteurs aptes à travailler à faible vitesse (0,3 km/h), suffisamment puissant (120 ch mini) et pourvus de pneumatiques adaptés (et parfois un gonflage à l'eau)
- peut tendre à fragmenter le polluant dans certaines conditions
- des adaptations du matériel sont nécessaires pour optimiser l'équipement en phase de collecte grossière : remplacement des griffes du pick-up par des bavettes souples
- nécessite une courte formation préalable relative aux adaptations nécessaires du matériel, aux modes opératoires spécifiques et à l'impact écologique potentiel
- respecter les consignes environnementales, ne pas utiliser en pied de dune, et baliser la distance à respecter du pied de dune (5 à 10 m)

Relevage/Adhérence par engin spécifique**Domaine d'utilisation****Substrats** : sables**Pollution** : faible à forte**Polluant** : moyennement à très visqueux**Mer** : avec (et sans) marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- rouleau léger (manuel) ou lourd (porté)

Moyens annexes :

- tracteur (variable selon le modèle) : chargeur, tracteur agricole, chenillette autotractée
 - engin à godet pour évacuation

Description/Principe

Consiste à utiliser des rouleaux spécifiques en mettant à profit la capacité d'adhérence-piégeage que possèdent certains revêtements vis-à-vis d'un polluant visqueux. Il existe différentes tailles de rouleaux qui sont poussés soit par des engins de type agricole ou TP pour les plus grands ou des petites chenillette autotractées soit aussi à la main. Les revêtements varient d'un géotextile, de type *Bidim* ou de type *Enkamat*, à la simple moquette. Certains petits modèles en sont dépourvus, la collecte se faisant par l'intermédiaire de clous ou de grillage. Un racloir retire automatiquement de la surface du cylindre le polluant qui est alors retenu en un bac. Sont particulièrement performants sur pollution parsemée de polluant visqueux.

Conditions d'utilisation

Pollution : viscosité moyenne à très forte; hydrocarbure frais ; micro-boulettes à galettes voire petites plaques pour les plus grosses unités

Substrat : sable fin à grossier ; surface plane peu ridée (ripple-marks) et dépourvus de macrodéchets (pénalisent le contact) ; sol ferme humide à saturé en eau (à hauteur des résurgences de la nappe phréatique)

Site : bonne portance et accès engins (grosses unités) ; pente faible à moyenne

Impact sur le milieu**Physique/Biologique** : néant**Performances**

Rendement : variable selon engins, polluant et pollution, sites, etc.

Personnel minimum requis : 1 personne (1 conducteur)

Déchets : polluant essentiellement très peu chargé en sable (polluant visqueux) ; si polluant relativement fluide : sable fortement pollué contenant au moins 50 % d'hydrocarbure

Observations

- collecte très sélective
- en niveau bas de la plage, complémentaire au criblage (qui lui se fait à un niveau supérieur)
- fenêtre d'utilisation très limitée (polluant frais ; sable dur mouillé, fin à grossier)
- cet équipement n'existe sur le marché qu'en nombre très limité, mais si la pollution s'y prête (arrivages de boulettes sur de longues périodes, en provenance d'une épave fuyarde, par exemple) a priori rapide à concevoir et fabriquer

Ramassage manuel

Domaine d'utilisation

Substrats : tous

Pollution : très faible à très forte

Polluant : tous

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- raclettes, râteau, balais, brosses, fourches ; racloirs courbes d'étables (polluant fluides), etc.
- épuisettes, pelles etc.

Moyens annexes :

- big bags, poubelles, sacs
- tracteurs à godet (évacuation)

Description/Principe

Consiste à enlever les sédiments et les débris pollués à la main ou à l'aide d'outils manuels et amassés en vue de leur évacuation. Ces déchets peuvent être en vrac ou conditionnés en sacs, poubelles, big bags (en fonction des possibilités de transfert et d'entreposage intermédiaire) puis évacués manuellement ou mieux, si possible, avec le soutien d'engins mécanisés.

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types ; le plus souvent sur pollution éparse ; sur pollution massive, si mise en œuvre d'autres techniques impossible

Substrat : tous types, portance suffisante pour piétons voire engins légers

Site : tous types suffisamment praticables et tolérant un piétinement intensif

Impact sur le milieu

Physique : impact insignifiant à fort selon les substrats. Risque de déstructuration du sol dans les marais. Érosion.

Biologique : idem. Effets potentiellement destructeurs sur la flore (dunes, marais)

Performances

Rendement : variable selon le type de pollution et de site (de 0,2 à 2 m³ maximum /j/pers.)

Personnel minimum requis : (ordre de grandeur pour plage de sable moyenne, 100 à 200 mètres linéaires/jour/équipe de 10, évacuation des déchets comprise)

Déchets : débris pollués et sédiments à teneurs variables en hydrocarbure : 10 à 30 % sur pollutions éparées mais beaucoup plus, surtout les premiers jours et sur pollution massive par fioul lourd

Observations

- technique très sélective mais réclamant beaucoup de personnels et de temps
- assurer la sécurité du personnel :
 - sécuriser les chantiers : signalisation, encadrement, pas d'individu isolé hors de vue, etc.
 - fournir les équipements de protection minimum nécessaires : combinaison, cirés, bottes, gants, et d'autres éventuellement selon la nature du polluant, les expositions et actions des opérateurs
- assurer le confort du personnel (conditions de travail pénibles) :
 - ravitaillement (eau, café, repas) des opérateurs
 - logistique (abri, espaces propres, etc.)
 - outils (innover si besoin)
- organiser le travail : répartir les intervenants à des postes bien identifiés (collecte, raclage, concentration, mise en sacs/poubelle, et évacuation) et faire tourner les équipes entre ces postes. La présence d'un chargeur permet de supprimer en partie ces deux derniers postes : les déchets ramassés sont directement déversés en vrac dans le godet du chargeur qui les évacue vers un moyen d'entreposage intermédiaire
- organiser une chaîne humaine pour l'évacuation des déchets en sites d'accès difficile
- limiter le transfert de pollution : canaliser la circulation, protéger les cheminements (géotextile), prévoir un site de décontamination en sortie de plage
- respecter les contraintes et consignes d'ordre environnemental

Jets d'eau à basse pression (*flushing*)**Domaine d'utilisation****Substrats** : tous**Pollution** : faible à très forte**Polluant** : tous**Mer** : avec et sans marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- lance à eau type incendie ou Impact
- pompe de transfert (30 m³/h environ ; 4 à 8 bars)

Moyens annexes :

- alimentation directe en mer, ou via citernes éventuellement
- récupération : petits barrages de chantier, barrages échouables, planches, pompe, absorbants

Description/Principe

Consiste à :

- décoller les surépaisseurs accumulées sur diverses surfaces dures (rochers, quais, etc.) ;
- déloger les amas piégés dans les anfractuosités des rochers, des blocs, enrochements, etc. ;
- déplacer les accumulations et effluents à la surface de la plage ou de l'eau pour les canaliser vers un point de collecte.

Conditions d'utilisation**Pollution** : hydrocarbure fraîchement déposé en accumulations épaisses, amas résiduels et effluents**Substrat** : (déplacement) sédiments fins mouillés à saturés en eau ; (délogement) rochers, blocs, galets**Site** : permettant l'approvisionnement direct en eau de mer (via chenaux éventuellement) ou accessible aux engins**Impact sur le milieu****Physique** : peut forcer l'hydrocarbure dans le sédiment (si jet trop puissant ou mal dirigé) ; perturbations temporaires**Biologique** : peut contaminer les peuplements de l'estran* sous-jacent, en cas de mauvaise récupération amont des effluents**Performances****Rendement** : très variable selon site, polluant, degré de pollution (quelques dizaines à quelques centaines de m²/h pour le déplacement sur plage ; de 1 à moins 5 m²/h dans le cas de délogement)**Personnel minimum requis** : 5 à 6 lances/équipe de 10 personnes**Déchets** : déchets pompables à forte teneur en hydrocarbure ; éventuellement absorbants saturés**Observations**

- assurer les équipements de protection individuelle minimum nécessaires : combinaison jetable, cirés complets, bottes, gants, cagoules, lunettes, masques. L'opérateur est soumis à une exposition très salissante par projection de polluant et d'effluents
- mettre en place au préalable un dispositif de récupération des effluents
- adapter la pression à la nature du substrat, de même que le mode de jet, plat ou bâton
- l'angle d'attaque du jet doit être faible, notamment sur les sédiments, afin de limiter au maximum l'érosion (sol fin) et l'enfouissement d'hydrocarbure en profondeur. Envisager d'associer en parallèle une opération de saturation en eau du sédiment (cordon de galets...)
- risque d'émulsification avec certains polluants (facteur augmentant la viscosité) ; utiliser en parallèle des lances à eau chaude notamment sur les galets
- la tenue de la lance en action est fatigante à la longue : prévoir la rotation des opérateurs (lance / surveillance de l'alimentation, de la pompe et du dispositif de récupération des effluents)

Saturation du sédiment (fontaine d'eau ou *flooding**)

Domaine d'utilisation

Substrats : sédiments grossiers, galets, blocs

Pollution : moyenne à très forte

Polluant : fluide à faiblement visqueux

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- pompe de transfert à gros débit (environ 100 m³/h)
- canalisation de drainage ou tuyau percé

Moyens annexes :

- alimentation direct en mer : pontons, barge support
- lances à eau (chaude/froide, haute/basse pression)
- récupération : petits barrages de chantier, barrage échouable, planches, pompe, absorbants

Description/Principe

La saturation se fait par inondation : elle est assurée par une canalisation souple perforée (de type drainage ou tuyau percé) déployée longitudinalement en haut du cordon et alimentée en eau de mer par une pompe à très gros débit. Le procédé consiste à créer, à partir du haut de l'estran*, un flot laminaire inondant la partie du cordon de sédiments en cours de nettoyage. Ce procédé est mis en œuvre en soutien aux opérations de lessivage (*flushing**) ou de lavage pour limiter la pénétration en profondeur du polluant sous la pression des lances à eau et pour améliorer le drainage vers le bas du cordon.

Conditions d'utilisation

Pollution : hydrocarbure frais, viscosité faible à modérée ; forte pollution

Substrat : sédiment grossier, galets

Site : plus particulièrement sur estran* peu large à pente modérée ; petit cordon sédimentaire, reposant sur substrat rocheux, au pied de criques rocheuses, par exemple

Impact sur le milieu

Physique : remaniement plus ou moins important du cordon sédimentaire ; retour ultérieur au profil d'équilibre

Biologique : risque moindre de pénétration verticale d'hydrocarbure dans le cordon ; possible contamination du bas de plage si les effluents ne sont pas captés immédiatement en pied de cordon

Performances

Rendement : très variable (selon le substrat, le degré de pollution...)

Personnel minimum requis : 10 personnes /chantier

Déchets : hydrocarbure plus ou moins émulsionné avec éventuellement des sédiments fins

Observations

- utiliser une canalisation flexible afin de mieux épouser le relief de la plage
- éviter de polluer les niveaux inférieurs : mettre en place un dispositif de récupération des effluents en pied de cordon, limiter la course des effluents sur l'estran*
- procéder méthodiquement, par secteur de plage
- à associer à un nettoyage à l'eau, froide ou chaude, à faible ou haute pression selon le cas

Descente de sédiments dans la zone de déferlement (*surfwashing)****Domaine d'utilisation****Substrats** : sable, galets**Pollution** : légère à très forte**Polluant** : divers**Mer** : de type macro ou mésotidal* de préférence (possible cependant en mer de type microtidal*)**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- engins TP : bouteur, chargeur à godet, pelle mécanique
- récupération sur plage : filets, big bags (ancrage), cordes, etc.

Moyens annexes :

- camions de carrière
- dispositif de récupération sur l'eau (barrage absorbant et/ou filtrant)

Description/Principe

Consiste à descendre des sédiments vers le bas de plage (en tas ou en merlon*, pas en couche) afin de les soumettre à l'action nettoyante naturelle de la mer. Les vagues détruisent les tas, séparent le polluant du sédiment, le redistribue sur la plage, le nettoie par brassage et abrasion tout en le remontant peu à peu vers son niveau initial. Cette technique est aussi bien utilisée en nettoyage grossier (phase 1) qu'en nettoyage fin (phase 2).

En phase 1, c'est la séparation du polluant des sédiments qui est recherchée. Le polluant libéré se dépose en laisse de mer* d'où il doit être retiré le plus rapidement possible. La récupération peut se faire manuellement, éventuellement après piégeage sur un support (paille, produits absorbants, etc.) épandu préalablement en haut de la plage. En cas de polluant visqueux, la récupération est optimale avec des filets positionnés en torche sur l'estran* en amont des tas ou merlons* (► Fiche N 04).

En phase 2, le *surfwashing** répond à différents objectifs :

- nettoyer directement des galets peu souillés ou parachever leur lavage préalable (pas de récupération à prévoir) ;
- en alternative au criblage de sable (quand les cribleuses* ne sont plus efficaces sur les micro-boulettes de fuel lourd, par exemple) : prévoir la récupération des éventuels amas libérés (par filet ou ramassage manuel) ;
- accélérer le lessivage par brassage d'un sable contaminé par un pétrole brut léger : récupération généralement pas possible (polluant sous forme de mousse souillée ou de fortes irisations).

Deux options de mise en œuvre envisageables : à la montante ou à la descendante, selon les enjeux et les caractéristiques du site :

- **option flot** : à la marée basse, positionner les tas en bas ou à mi-estran* ainsi que les filets en quinconce en arrière des tas ; retirer les filets à descendante suivante ;
- **option jusan*** : à la marée basse précéder l'opération, positionner le dispositif de récupération longitudinalement en partie haute, sur 2 ou 3 lignes parallèles, décalées dans le sens de la dérive littorale juste sous le niveau de la pleine mer du jour ; à la marée descendante suivante, déverser le sable souillé par godets dans les déferlantes, juste à l'amont (par rapport à la dérive littorale) du dispositif qui se découvrira progressivement durant la descendante, et retirer les filets souillés au gré de leur émergence complète. Envisager en complément un dispositif de récupération sur l'eau à l'aide d'un barrage absorbant ou d'une barrière géotextile filtrante, fixe ou mobile, opérée à partir d'une petite embarcation avec soutien à partir de la plage.

Conditions d'utilisation**Pollution** : très faible à très forte**Substrat** : galets et sable**Site** : accessible à engins TP ; fortement exposé à l'énergie de la mer**Impact sur le milieu**

Physique : perturbation momentanée du profil de la plage : risque géomorphologique évident (érosion du trait de côte) en cas de mauvaise évaluation ou de mauvaise mise en œuvre

Biologique : limité sauf en cas d'érosion ; recontamination possible de l'estran* par l'hydrocarbure libéré

Performances

Rendement : dépend des caractéristiques de la plage (taille, manœuvrabilité, exposition) et de la pollution

Personnel minimum requis : Option flot = engin (1 conducteur) + filets (minimum 5 personnes – pose et retrait) ; Option 2 = engin (1 conducteur) + dispositif de récupération par filets (6 personnes mini pour pose et mise en œuvre sur la plage + 2 personnes par embarcation mini)

Déchets : variable selon phases : amas, filets plus ou moins fortement pollués, absorbants, etc.

Observations

- en raison des risques géomorphologiques cette technique réclame l'accord préalable d'un expert géomorphologue (évaluer les risques possibles d'érosion ponctuelle du littoral, s'assurer de la faisabilité de l'opération, l'organiser)
- limiter le volume concerné au strict nécessaire
- réitérer l'opération selon les résultats du nettoyage

Brassage immergé

Domaine d'utilisation

Substrats : sable, galets

Pollution : légère à très forte

Polluant : divers

Mer : avec (ou sans) marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- lances type incendie ou PVC impact
- pompes (30 m³/h – 4 à 8 bars)

Moyens annexes :

- dispositif de récupération des effluents
- moyens d'écumage/absorption des effluents
- capacités d'entreposage

Description/Principe

Consiste à remobiliser les hydrocarbures piégés dans les sédiments en brassant énergiquement ces derniers, sous l'eau, à l'aide de jets d'eau. Les hydrocarbures remontant à la surface de l'eau sont récupérés au sein d'un petit barrage à l'aide soit d'absorbants soit d'un récupérateur.

Technique généralement effectuée par des opérateurs individuels à pied, à l'aide de lances de type Impact alimentées par une petite pompe légère.

Conditions d'utilisation

Pollution : hydrocarbure léger (de préférence) plus ou moins émulsionné – pollution enfouie jusqu'à 40 – 50 cm

Substrat : sédiments fins à grossiers ; hauteur d'eau 0,5 à 3 m

Site : accessible à barge/ponton support ; relativement calme au moment des opérations

Impact sur le milieu

Physique : perturbation temporaire des 60 premiers centimètres (foisonnement, sables mouvants)

Biologique : impact mécanique potentiel sur la macrofaune du sable ; perturbation temporaire (moindre que la contamination chimique initiale) ; recolonisation à court terme

Performances

Rendement : très variable selon la pollution, le sédiment

Personnel minimum requis : (récupération comprise) 10 personnes : 1 ou 3 par lance

Déchets : hydrocarbure émulsionné pompable ou absorbable (teneur en hydrocarbure du sable nettoyé : < 1g/kg)

Observations

- assurer la sécurité des personnels par la fourniture des équipements de protection individuelle : combinaison, cirés, bottes, gants, cagoules, lunettes, masques. L'opérateur est soumis à une exposition très salissante (projection de particules grossières de polluant)
- technique manuelle mais sa mécanisation a été envisagée, et peut encore l'être, en vue d'augmenter le rendement. Soit à l'aide d'une batterie de lances montée sur une embarcation motorisée (de type ponton), soit à partir de la plage à l'aide d'un engin mobile (muni d'un bras déporté)
- manipulation pénible de la lance ; prévoir des lances avec prises et effectuer des rotations de personnels (à la lance, à l'alimentation en eau, à la récupération des effluents)
- peut aussi être utilisée pour relever des plaques de fuel lourd immergé (à l'aide de lances rallongées éventuellement, comme durant l'Erika par exemple)
- prévoir systématiquement un dispositif de récupération

Confinement et récupération des effluents sur l'eau**Domaine d'utilisation****Substrats** : tous types**Pollution** : faible à très forte**Polluant** : tous types**Mer** : avec et sans marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- petits barrages flottants, barrages de chantier, barrage échouable
- récupérateurs/pompes
- absorbants, épuisettes

Moyens annexes :

- support logistique, naval ou terrestre (déploiement des équipements/évacuation des déchets...)

Description/Principe

Consiste à mettre en place un dispositif permettant la récupération des effluents surnageant au droit des chantiers de lavage. Le confinement se fait à l'aide de barrages flottants rattachés à la rive et disposés en U plus ou moins ouvert. L'hydrocarbure est récupéré, par absorption ou pompage, en fond de poche à partir de la plage (à l'aide d'écrémeurs à déversoir, ou oléophiles*...) ou sur le plan d'eau (à l'aide de barge/ponton récupérateur à bande convoyeuse, à déversoir..., avec capacité d'entreposage intégrée ou à couple). L'importance du dispositif dépend du volume de polluant et de la taille du chantier.

Conditions d'utilisation**Pollution** : hydrocarbure mobilisable, pompable**Substrat** : tous types**Site** : relativement abrité (du moins lors des opérations) de préférence continuellement en eau ou à estran* étroit**Impact sur le milieu****Physique** : faible à néant

Biologique : très faible (sauf transfert de pollution vers le bas d'estran* par migration si les effluents ont une course trop longue sur l'estran* avant d'arriver à l'eau, et sauf coulage en zone subtidale* de l'hydrocarbure chargé en sédiments)

Performances**Rendement** : variable selon les volumes d'hydrocarbure libérés, les sites et les moyens de récupération**Déchets** : hydrocarbure émulsionné, eau polluée, sédiments fins et débris divers pollués**Observations**

- suppose une logistique importante (chantier mobile/évacuation de déchets) et une organisation méthodique de chantier afin de ne pas souiller les secteurs côtiers déjà nettoyés ou non préalablement affectés par la pollution
- l'utilisation simultanée d'absorbant, en vrac ou conditionné sur le plan d'eau et sur l'estran* peut être bénéfique notamment en présence de sédiments fins ou d'eaux turbides
- à n'envisager que sur plage étroite

Confinement et récupération des effluents sur l'estran*

Domaine d'utilisation

Substrats : tous types

Pollution : faible à très forte

Polluant : tous types

Mer : avec marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- barrage échouable
- pelles, pelle mécanique, planches
- récupérateurs/pompes, absorbants, épuisettes

Moyens annexes :

- bacs de stockage/poubelles
- support logistique terrestre pour déploiement des matériels/évacuation des déchets...)

Description/Principe

Consiste à permettre la récupération sur la plage des effluents issus des opérations de lessivage/lavage/drainage. Il s'agit de canaliser les écoulements et de les concentrer en des points de pompage/écrémage. La canalisation peut se faire à l'aide de sillons (protégés de bâches), de planches, disposés en V orientés vers le bas. La rétention doit se faire au plus près du chantier pour limiter la longueur d'écoulement des effluents. Elle peut se faire à l'aide de barrages échouables ou de merlons* de sable bâchés ou de simples cuvettes protégées de géotextile. La récupération se fait par absorption ou par pompage selon l'importance du volume décollé.

Conditions d'utilisation

Pollution : hydrocarbure remobilisé, pompable

Substrat : tous types

Site : tous types

Impact sur le milieu

Physique : perturbations très légères et momentanées au niveau des zones creusées

Biologique : risque de pollution rémanente en cas de polluant non récupéré ou enfoui, par effondrement des fossés, sillons, cuvettes ; recolonisation retardée en ces endroits

Performances

Rendement : variable

Déchets : hydrocarbure émulsionné, eau polluée, sédiments fins et débris divers pollués

Observations

- la phase rétention/récupération doit être définie et le dispositif mis en place avant la phase de lavage/drainage ;
- prévoir le recours à des feuilles plastiques et des géotextiles le long du dispositif de ruissellement et de confinement afin de limiter la percolation du polluant et conforter le dispositif (anti-éboulement)

Décaissement de sédiments

Domaine d'utilisation

Substrats : tous

Pollution : faible à très forte

Polluant : tous types

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- engins TP : chargeur à godet frontal, pelle mécanique
- manuels : pelles, etc. ou jets d'eau basse pression

Moyens annexes :

- bennes et camions (évacuation)

Description/Principe

Consiste à

- dégager une couche de sédiments propres et atteindre une couche de polluant enfoui en vue de la traiter ;
- ou retirer momentanément une couche de sédiments peu pollués (mais suffisamment pour nuire aux usages de la plage) en vue :

- de les nettoyer immédiatement en un autre endroit de la plage (*surfwashing**) ou hors plage (lavage, criblage)
- ou de les stocker momentanément (l'été en haut de la plage, par exemple) en vue d'un traitement à une date ultérieure plus propice (*surfwashing** différé en automne, par exemple).

Cette opération peut être réalisée de diverses manières : à l'aide d'engins de TP (volumes importants), à la pelle ou à la lance à eau à basse pression (pour atteindre la base polluée d'un rocher momentanément recouvert de sédiment, par exemple)

Conditions d'utilisation

Pollution : pollution forte enfouie ou pollution faible ou résiduelle nuisant momentanément aux usages de la plage

Substrat : sédiments fins à très grossiers

Site : accessible à engins TP (adaptés à la portance du sol)

Impact sur le milieu

Physique : limités mais instabilité temporaire éventuelle du profil d'équilibre de la plage (si volumes importants concernés)

Biologique : limité mais perturbation éventuelle (si volumes importants concernés)

Performances

Rendement et personnel minimum requis : variables selon le site, les volumes de sédiments concernés et les moyens utilisés

Déchets : couche de polluant plus ou moins chargé en sédiment

Observations

- procédé qui diffère du décapage dans la mesure où il ne concerne que des retraits temporaires de sédiments qui restent ou retourneront rapidement sur la plage
- ne retirer que les volumes nécessaires : faire une reconnaissance détaillée (en surface et en profondeur), informer les opérateurs, assister les conducteurs
- limiter les risques : prendre conseils au préalable auprès d'experts pour les évaluer, organiser et planifier l'opération (notamment en cas de *surfwashing**)
- veiller à la sécurité du chantier, en cas de mise en œuvre d'engins lourds

Drainage

Domaine d'utilisation

Substrats : sédiments fins à grossiers (marais, limité)

Pollution : moyenne à forte

Polluant : fluides

Mer : avec marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- outils manuels (pelle, etc.)
- engins mécanisés (soc agricole, pelle mécanique)
- alimentation en eau éventuellement (pompe)

Moyens annexes :

- dispositif de récupération des effluents
- moyens d'écumage/absorption des effluents
- capacités d'entreposage

Description/Principe

Consiste à creuser des sillons de drainage dans la plage de façon à augmenter le drainage naturel. Les sillons sont obliques et convergent vers un point bas de collecte (barrage échouable, merlon* avec géotextile, planches, fossé, cuvette, etc.). Les eaux de percolation entraînent les hydrocarbures piégés entre les grains de sable et sont recueillies au point de collecte, et traitées par absorption ou pompage.

En cas de drainage naturel limité, il peut être envisagé de l'augmenter en recourant à une inondation en haut de plage (fontaines et jets d'eau) afin de favoriser le lessivage du sédiment.

Conditions d'utilisation

Pollution : moyenne à forte, polluant fluide enfoui

Substrat : sable fin à grossier

Site : plus propice quand résurgences de nappe sur l'estran* ; accessible à petits engins TP

Impact sur le milieu

Physique : perturbation limitée et temporaire (formation éventuelle de sables mouvants au niveau des sillons)

Biologique : faible perturbation

Performances

Rendement : très variable selon le substrat, le degré de pollution, le drainage naturel

Déchets : hydrocarbures liquides, sédiments fins pollués, absorbants souillés

Observations

- rendement lent ; technique à réitérer
- le recours aux lances à eau n'est pas nécessaire sur les plages où l'écoulement en surface des eaux de la nappe phréatique est important

Hersage

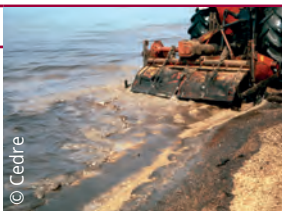
Domaine d'utilisation

Substrats : sédiments fins à grossiers

Pollution : légère à forte

Polluant : divers

Mer : avec (ou sans) marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- engins agricoles (herse, rotovator, charrue)

Moyens annexes :

- dispositif de récupération des effluents
- moyens d'écrouissage/absorption des effluents
- capacités d'entreposage
- cribleuse*

Description/Principe

Cette technique répond à différents objectifs selon qu'elle est réalisée hors d'eau ou en eau :

- cas 1 (sous une faible hauteur d'eau à marée montante) = libérer l'hydrocarbure fluide piégé dans le sédiment, à l'aide d'un brassage mécanique : le sable ainsi affouillé libère l'hydrocarbure qui est récupéré à la surface de l'eau (= autre version du brassage immergé réalisé avec des jets d'eau) ;
- cas 2 (hors d'eau) = favoriser la dégradation naturelle in situ d'hydrocarbure en augmentant à la fois l'aération et l'exposition aux UV : hersage d'un haut de plage faiblement contaminé, ou teinté, par un hydrocarbure fluide ;
- cas 3 (hors d'eau) = en soutien à une opération de criblage, à l'aide d'une charrue cette fois, afin de remonter en surface des plaques de polluant visqueux enfouies sous une couche épaisse de sable propre.

Conditions d'utilisation

Pollution : (cas 1) légère à forte, sous forme de poches localisées d'hydrocarbure enfoui
 (cas 2) polluant léger qui ne se présente plus sous la forme d'accumulations mobilisables mais sous celle d'une coloration homogène plus ou moins fortement marquée ;
 (cas 3) amas de fioul lourd enfouis

Substrat : sédiments fins à grossiers

Site : accessible à engins agricoles, peu exposé à l'énergie de la mer

Impact sur le milieu

Physique : foisonnement de la couche superficielle de la plage ; sol momentanément déstructuré

Biologique : peut être important sur la macrofaune endogée (par exemple dans le sable) mais recolonisation rapide

Performances

Rendement : variable selon les sites ; vitesse de travail relativement rapide cependant dans les cas 1 et 2 ; mais vitesse lente requise dans le cas 3, de façon à éviter la pulvérisation des amas

Déchets : (cas 1) : déchets liquides et absorbants pollués ; (cas 2) : non approprié ; (cas 3) : amas divers de fuel lourd avec sable amalgamé

Observations

- cas 1 : procéder autant que possible à la marée montante (risque moindre de transfert vertical du polluant dans le sédiment)
- cas 1 à 3 : opération généralement à réitérer selon le degré de contamination du sédiment
- cas 1 : le hersage immergé se rapproche du principe du brassage immergé ; ils peuvent d'ailleurs être combinés. Récupérer l'hydrocarbure libéré surnageant
- cas 2 : peut être appliqué sur une plage de type microtidal* polluée suite à une surcote.
- cas 2 : peut éventuellement être couplé, si jugé utile, à une opération de biorestauration (épandage de nutriments)

Lavage à l'eau chaude à haute pression (avec ou sans produit)

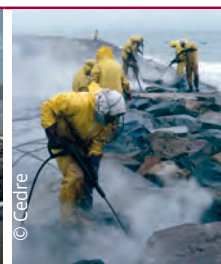
Domaine d'utilisation

Substrats : galets, blocs, rochers, infrastructures

Pollution : faible à très forte

Polluant : tous types

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- nettoyeur thermique à pression

Moyens annexes :

- alimentation direct en mer ; réserves d'eau de mer
- récupération : petits barrages de chantier, barrage échouable, planches, absorbants, écrémateur, pompe
- produits de lavage (éventuellement)

Description/Principe

N'est mise en œuvre qu'après la phase de ramassage grossier de l'hydrocarbure puis de raclage des parois. Elle consiste à laver à l'eau chaude à forte pression les surfaces dures souillées. Le lavage suppose la récupération des effluents ; ceci nécessite la mise en place d'un dispositif *ad hoc* avant le nettoyage à proprement parler.

La chaleur et la pression peuvent être préjudiciables à certains milieux. Il faut donc moduler la température et la pression en fonction de la nature et fragilité du substrat, mais aussi respecter les restrictions et recommandations spécifiques qui peuvent être formulées pour certains sites écologiquement sensibles.

Conditions d'utilisation

Pollution : faible épaisseur ; hydrocarbure modérément à fortement vieilli

Substrat : surfaces résistantes mécaniquement (galets, roches, quai)

Site : accessibles aux machines de lavage

Impact sur le milieu

Physique : impact éventuel sur roche très friable ; éboulement possible sur sol/falaise non consolidé (à ne pas mettre en œuvre sur les falaises friables)

Biologique : risque de stérilisation des surfaces et impact possible des produits sur la faune sédimentaire environnante

Performances

Rendement : variable selon les sites (quelques m²/h par machine)

Personnel minimum requis : 10 personnes pour 3 à 4 machines (récupération des effluents non comprise)

Déchets : effluents liquides d'hydrocarbure plus ou moins émulsionné

Observations

- assurer la sécurité des personnels par la fourniture des équipements de protection individuelle minimum nécessaires : combinaisons, cirés, bottes, gants, cagoules, lunettes, masques. L'opérateur est soumis à une exposition très salissante, chargée en particules potentiellement toxiques (aérosols)
- évaluer la nécessité de laver en prenant en compte le degré de pollution et la sensibilité écologique du site : présence de lichens et de végétation de crevasses, par exemple
- ne pas déchausser la végétation ni décaper la terre (sol squelettique de crevasses)
- récupérer l'hydrocarbure décollé ; protéger les alentours des projections (géotextiles)
- utiliser des nettoyeurs thermiques tolérant l'eau de mer et aisément transportables
- prévoir la rotation des opérateurs (selon le principe suivant : 1 à la lance, 1 en surveillance de la machine et alimentation, 1 autre à la récupération des effluents)
- prévoir la maintenance/réparation sur chantier (1 mécanicien pour 10 machines)
- le recours à l'eau chaude sans pression peut être une solution avantageuse
- le recours à un produit de lavage n'est pas toujours nécessaire. Des tests pourront cependant être menés en vue d'évaluer le gain potentiel. Son choix nécessite un accord préalable : n'employer qu'un produit testé (efficacité, toxicité, biodégradabilité) par un organisme reconnu

Lavage en bac dégrilleur

Domaine d'utilisation

Substrats : galets

Pollution : moyenne à forte

Polluant : tous types

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- dégrilleurs
- bennes étanches
- nettoyeurs à haute pression

Moyens annexes :

- alimentation en galets (godet)
- alimentation en eau (pompe)
- moyens d'écumage/absorption des effluents
- dispositif de reprise/entreposage/décantation des effluents

Description/Principe

Les galets sont lavés hors site dans des bacs dégrilleurs positionnés au-dessus de bennes étanches. Les galets prélevés sont posés en couches fines dans les bacs pour être lavés à l'eau chaude sous pression à l'aide de nettoyeurs thermiques. Les effluents sont recueillis dans le bac où se fait à terme la décantation puis l'écumage.

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types de préférence hydrocarbure frais ou peu vieilli

Substrat : galets plus ou moins pollués

Site : cordon de galets localement pollué ; lavage hors plage

Impact sur le milieu

Physique : néant (ne pas laver des galets de roches trop friables de type schistes)

Biologique : lié éventuellement à la présence résiduelle de polluant et de produits ou à la destruction de la végétation de galets en haut de cordon

Performances

Débit moyen : variable (1 à 3 m³/h selon la taille des galets, le degré de pollution, le polluant, le site)

Déchets : eau + hydrocarbure + fines souillées (+ éventuellement solvant)

Observations

- suppose une aire de travail (parking, terre-plein) en arrière plage, mise en place relativement rapide
- rendement faible ; concerne des petits volumes à nettoyer
- gestion des effluents à maîtriser
- prévoir un dispositif anti-projection en bordure de la benne
- nécessite une bonne gestion (circulation, alimentation, entreposage et évacuation des sédiments)
- les sédiments trop fortement pollués nécessitent un grattage préalable
- procéder en flux tendu : prélèvement au fur et à mesure et retour sur plage sitôt lavés
- les sédiments lavés sont soumis au *surfwashing** pour parachever le nettoyage
- le recours à un produit de lavage n'est pas toujours nécessaire. Des tests pourront cependant être menés en vue d'évaluer le gain potentiel. N'employer qu'un produit testé (efficacité, toxicité, biodégradabilité) par un organisme reconnu

Lavage en cabine

Domaine d'utilisation

Substrats : galets

Pollution : moyenne à forte

Polluant : tous types

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- cabine (installation grillagée)
- nettoyeurs thermiques (eau chaude + rinçage)
- géomembranes

Moyens annexes :

- alimentation en galets (manuelle)
- alimentation en eau (pompe + bacs)
- dispositif de récupération des effluents
- produits solvants (éventuellement)

Description/Principe

Consiste à laver des galets souillés à l'aide d'un nettoyeur à pression au sein d'une installation permettant la séparation des effluents des galets par dégrillage et le confinement des effluents, aérosols et projections diverses.

La 'cabine' est une structure grillagée métallique légère comprenant un plancher solide ajouré (grillage ou tôle) sur lequel sont lavés les galets, et trois parois latérales, recouvertes de géotextile, destinées à contenir les projections d'effluents et d'hydrocarbure. L'ensemble des effluents de lavage passent ainsi à travers le plancher et sont recueillis dans un dispositif de récupération monté au préalable sous la cabine (rigole d'écoulement protégée de géotextile, avec moyens de filtration, absorption, etc.).

Pour permettre le lavage de petits galets, sans qu'ils ne soient projetés en dehors de la cabine, il suffit de les mettre dans des poches en plastique grillagé de type poches à huîtres qui sont retournées en cours de lavage.

Le recours à un produit de lavage n'est pas systématiquement nécessaire.

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types, de préférence hydrocarbure frais ou peu vieilli

Substrat : galets

Site : tous sites

Impact sur le milieu

Physique : néant (ne pas laver des galets de roches trop friables de type schistes)

Biologique : lié éventuellement à la présence résiduelle de polluant et de produits ou à la destruction de la végétation de galets en haut de cordon

Performances

Débit moyen : variable

Déchets : eau + hydrocarbure + fines souillées (+ éventuellement solvant)

Observations

- assurer la sécurité des personnels par la fourniture des équipements de protection individuelle minimum nécessaires : combinaisons, cirés, bottes, gants, cagoules, lunettes, masques. L'opérateur est soumis à une exposition très salissante, chargée en particules potentiellement toxiques (aérosols)
- très faible encombrement, mise en place rapide
- les galets souillés sont ramassés sur la plage à la main, et retournés en bas ou mi-plage pour finition par autonettoyage
- les sédiments trop fortement pollués nécessitent un grattage préalable
- récupérer l'hydrocarbure décollé
- prévoir la rotation des opérateurs (selon le principe suivant : 1 à la lance, 1 en surveillance de la machine et alimentation, 1 autre à la récupération des effluents)
- utiliser des nettoyeurs thermiques tolérant l'eau de mer et aisément transportables
- prévoir la maintenance/réparation sur chantier pour le nettoyeur
- le recours à l'eau chaude sans pression peut être une solution avantageuse pour décoller le polluant sans « l'exploser »
- le recours à un produit de lavage n'est pas toujours nécessaire. Des tests pourront cependant être menés en vue d'évaluer le gain potentiel. N'employer qu'un produit testé (efficacité, toxicité, biodégradabilité) par un organisme reconnu

Lavage en bétonnière**Domaine d'utilisation****Substrats** : galets**Pollution** : moyenne à forte**Polluant** : tous types**Mer** : avec et sans marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- bétonnière
- produits solvants (éventuellement)
- nettoyeurs thermiques (eau chaude + rinçage)
- dégrilleur (rinçage)

Moyens annexes :

- alimentation en galets (manuelle)
- alimentation en eau (pompe)
- moyens d'écumage/ absorption des effluents
- dispositif de récupération des effluents

Description/Principe

Les sédiments sont lavés à l'eau froide (éventuellement tiède, à l'aide de nettoyeurs thermiques) durant 5 min à l'intérieur de la bétonnière. En cas d'utilisation de produit, procéder à un malaxage préalable de 3 à 5 minutes avec du produit pur de type solvant (coupe pétrolière). Le remplissage en fin de cycle de la bétonnière avec l'eau permet de pratiquer un écrémage par surverse des hydrocarbures surnageant qui sont récupérés dans un bac spécifique ; sinon le contenu global de la bétonnière peut être déversé dans un bac grillagé. Les eaux de lavage sont écrémées, filtrées, puis réutilisées après décantation. Les galets sont rincés à l'eau chaude sur grille au-dessus d'un bac, puis remis sur la plage (*surfwashing**). Les galets faiblement souillés peuvent être mélangés avec du sable simplement (abrasion). Avec certains polluants visqueux, un simple malaxage à eau peut parfois suffire pour récupérer le polluant auto-amalgamé sous forme de galets de polluant pur.

Conditions d'utilisation**Pollution** : tous types, de préférence hydrocarbure frais ou peu vieilli**Substrat** : plus ou moins pollué**Site** : envisageable à même la plage, mais aussi hors site et toujours avec un dispositif de récupération des effluents de lavage**Impact sur le milieu****Physique** : néant (ne pas laver des galets de roches trop friables de type schistes)**Biologique** : lié éventuellement à la présence résiduelle de polluant et de produits ou à la destruction de la végétation de galets en haut de cordon**Performances****Débit moyen** : variable**Déchets** : eau + hydrocarbure + fines souillées (+ éventuellement solvant)**Observations**

- très faible encombrement : mise en place rapide
- procéder en flux tendu
- nécessite une bonne gestion (circulation, alimentation entreposage évacuation des sédiments)
- réitération éventuellement nécessaire du lavage sur sédiments fortement pollués.
- les sédiments trop fortement pollués nécessitent un grattage préalable
- les sédiments lavés sont soumis au *surfwashing** pour parachever le nettoyage
- prévoir des casques de protection anti-bruit
- le recours à un produit de lavage n'est pas toujours nécessaire. Des tests pourront cependant être menés en vue d'évaluer le gain potentiel. N'employer qu'un produit testé (efficacité, toxicité, biodégradabilité) par un organisme reconnu

Lavage en toupie à béton

Domaine d'utilisation

Substrats : galets
Pollution : moyenne à forte
Polluant : tous types
Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- toupie à béton 5 ou 7 m³
- produits (solvants)
- nettoyeurs thermiques (eau chaude + rinçage)
- bacs de décantation
- dégrilleur (rinçage)

Moyens annexes :

- alimentation en sédiment (chargeur, trémie)
- alimentation en eau (tonne + pompe)
- moyens d'écumage
- support logistique terrestre : déploiement des matériels/gestion des sédiments et des déchets

Description/Principe

Les sédiments sont lavés à l'eau froide (éventuellement tiède, à l'aide de nettoyeurs thermiques) durant 10 à 15 min. à l'intérieur de la toupie, après un malaxage de 5 minutes avec du produit pur de type solvant (quelque décilitre/m³ coupe pétrolière). En fin de cycle, le remplissage de la toupie avec une lance à eau permet de pratiquer un écrémage par surverse des hydrocarbures surnageant qui sont déviés dans un bac spécifique. L'eau de lavage est réutilisée après décantation. Les galets sont rincés à l'eau chaude sur grille au-dessus d'un bac, puis remis sur la plage (*surfwashing*).

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types de préférence hydrocarbure frais ou peu vieilli ; pollué jusqu'à une teneur de 100 g/kg environ
Substrat : galets fortement pollués
Site : en arrière de plage, suppose un terre-plein assez vaste en raison de l'emprise au sol du dispositif

Impact sur le milieu

Physique : faible risque momentané (le temps du lavage) d'érosion en cas de tempête : en évaluer le risque
Biologique : lié éventuellement à la présence résiduelle de polluant et de produits (recolonisation rapide si sédiment bien rincé et si remis sur son site d'origine) ou à la destruction de la végétation en haut de cordon de galets par la suite

Performances

Débit moyen : galets : 4 à 6 t/h
Déchets : eau + hydrocarbure + solvant + fines souillées

Observations

- encombrement : limité à la toupie à béton et aux bacs de décantation
- mise en place relativement rapide
- procéder en flux tendu de façon à limiter l'emprise au sol et surtout le déficit sédimentaire temporaire
- nécessite une bonne gestion (circulation, alimentation entreposage évacuation des sédiments)
- réitération éventuellement nécessaire du lavage sur sédiments fortement pollués
- les sédiments trop fortement pollués nécessitent un lavage grossier préalable (bac dégrilleur)
- les sédiments lavés sont remis le plus rapidement possible sur le site d'origine
- ne pas laver de la sorte des galets de roches trop friables de type schistes
- prévoir des casques de protection anti-bruit
- n'employer qu'un produit testé (efficacité, toxicité, biodégradabilité) par un organisme reconnu ; faire un test sur le site

Lavage en installation fixe**Domaine d'utilisation****Substrats** : sable, galets**Pollution** : moyenne à très forte**Polluant** : tous types**Mer** : avec et sans marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- centrale de lavage
- trémie et sauterie d'alimentation, grue
- chaudière (1t/h, échangeur thermique)
- groupe électrogène (150 kVA)
- produits (solvants, floculants)
- bacs de décantation

Moyens annexes :

- chargeur ; tracteur + remorques
- moyens d'écumage
- support logistique terrestre : déploiement des matériels/gestion des sédiments et des déchets

Description/Principe

L'alimentation en sédiments de la centrale se fait à l'aide d'une trémie et d'une sauterie. Les sédiments sont lavés à l'eau chaude à l'intérieur d'un déboureur (après imprégnation de solvant et malaxage à l'intérieur de ce dernier) durant 12 à 18 minutes pour le sable et 3 minutes pour les galets. En sortie du déboureur s'opère le rinçage sur un trommel qui assure le tri des sédiments : le refus (éléments > 5 mm) est évacué. Le reste est pompé vers un hydrocyclone où s'effectue une séparation (eau/hydrocarbures/solides) par centrifugation et gravité permettant l'évacuation des sédiments > 200 µm. Le mélange restant (eau/HC/particules solides fines) est envoyé dans des bacs de décantation où l'hydrocarbure surnageant est écrémé.

Conditions d'utilisation**Pollution** : tous types de préférence hydrocarbure frais ou peu vieilli ; pollué jusqu'à une teneur de 100 g/kg environ**Substrat** : sables, galets**Site** : en arrière de plage, suppose un terre-plein assez vaste en raison de l'emprise au sol du dispositif**Impact sur le milieu****Physique** : (lié au prélèvement de sédiments) risque momentané (le temps du lavage) d'érosion en cas de tempête : en évaluer le risque**Biologique** : lié éventuellement à la présence résiduelle de polluant et de produits (recolonisation rapide ultérieurement si sédiment bien rincé et si remis sur son site d'origine) ou à la destruction de la végétation de galets en haut de cordon**Performances****Débit moyen** : sable 15 m³/h ; galets 20 m³/h avec charges polluantes variables de 20 à 100 g/kg**Efficacité du lavage** : teneur en hydrocarbure >1 g/kg**Déchets** : hydrocarbures écrémés, fines souillées, effluents de lavage**Observations**

- dosage en produit : sable 500 l/h ; galets : 60 à 100 l/h (ratio produit/polluant : entre 20 et 50 % en poids)
- les sédiments trop fortement pollués nécessitent un lavage préalable en bac dégrilleur, par exemple
- opérer en flux tendu (pour limiter le risque d'érosion en cas de tempête par déficit sédimentaire trop important)
- les sédiments lavés sont remis le plus rapidement possible sur le site d'origine
- sa mise en œuvre suppose un très important gisement de galets pollués en un même site, sinon lui préférer une autre solution.
- ne pas laver de la sorte des galets de roches trop friables de type schistes
- prévoir des casques de protection anti-bruit
- emprise au sol importante : nécessite une aire relativement importante

Prélèvement d'un sédiment en vue d'un traitement ex-situ

Domaine d'utilisation

Substrats : sable, galets

Pollution : faible à très forte

Polluant : tous types

Mer : avec et sans marnage



Cedre

Moyens nécessaires

Équipement de base :

- chargeurs à godet
- pelles, pelles mécaniques
- récupérateurs/pompes, absorbants, épuisettes
- bacs de stockage/poubelles

Moyens annexes :

- support logistique terrestre déploiement des matériels/évacuation des déchets...
- installations de criblage (cribleur minier) ou de lavage (bétonnière, toupie à béton, etc.)

Description/Principe

Consiste à prélever les sables et galets pollués (en vue de les traiter par criblage ou lavage par une installation montée à proximité) puis à les remettre le plus rapidement possible à leur emplacement d'origine.

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types (de préférence hydrocarbure pas trop vieilli)

Substrat : sables, galets

Site : site accessible à des engins de travaux publics et possédant un terre-plein en arrière plage suffisamment proche et vaste pour accueillir le dispositif et la logistique de lavage ou de criblage

Impact sur le milieu

Physique et Biologique : liés à la circulation des engins lourds et aux prélèvements de sédiments ; risque momentané d'érosion du site (impact pouvant être très préjudiciable voire irréversible si mal évalué) ; risque de destruction de la végétation de galets en haut de cordon

Performances

Rendement : variable selon les moyens mis en œuvre et les caractéristiques du site et de la pollution

Personnel minimum requis : 1 personne par engin + 1 contrôleur

Déchets : non approprié

Observations

- en cas de volumes de sédiments importants et de durée de chantier longue : bien évaluer les risques d'érosion (en cas de tempêtes par exemple) ou de rupture de cordons de galets, voire l'inondation de l'arrière-pays :
 - demander l'accord préalable à expert géomorphologue
 - être sélectif lors du prélèvement (afin de limiter le volume à nettoyer)
 - procéder par enlèvement progressif
 - compenser le retrait de galets pollués par un retour identique de galets nettoyés
- la remise des sédiments sur le site d'extraction est impérative
- envisager la technique du *surfwashing* pour parachever le lavage

Chantier botanique

Domaine d'utilisation

Substrats : secteurs végétalisés

Pollution : moyenne à forte

Polluant : fluide à visqueux

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- outillage manuel : racloirs, couteaux à mastic, brosses, ciseaux, griffes

Moyens annexes :

- moyens d'évacuation de déchets (sacs, quads)

Description/Principe

Concerne le nettoyage de secteurs écologiquement sensibles, ne tolérant pas une intervention mécanisée. Ce genre de chantier fait l'objet de recommandations préalables spécifiques définies par des experts (botaniste, environnementaliste) qui par ailleurs généralement encadrent ou suivent les opérations. Ces recommandations varient d'une pollution à l'autre et d'une côte à l'autre et elles doivent être clairement expliquées aux équipes d'intervention.

En général, il s'agit d'enlever les surépaisseurs et amas de polluant déposés ou enfouis au pied de la végétation en évitant d'affecter le système racinaire.

Il peut être nécessaire de couper les parties aériennes engluées, si la plane supporte la fauche.

Conditions d'utilisation

Pollution : modérée à forte : hydrocarbure de tous types

Substrat : espaces végétalisés intertidaux et supratidaux (rochers, falaises, dunes, pelouses sommitales, etc.)

Site : sites écologiquement sensibles et facilement accessibles

Impact sur le milieu

Physique : nul à très faible

Biologique : non approprié (intervention a priori bénéfique)

Performances

Rendement : variable selon le biotope, la pollution, les sites

Déchets : polluant plus ou moins chargé en sédiments et en débris végétaux

Observations

- se méfier des secteurs apparemment dénudés à la mauvaise saison (ne pas détruire le système racinaire en place ni retirer le stock de graine du sol)
- le report d'une intervention à une époque ultérieure plus favorable (ou moins destructrice) peut être envisagée si nécessaire
- bien organiser les équipes, les postes (collecte, évacuation, etc.) et les cheminements
- procéder avec méthode : bien définir la séquence des opérations et la progression des chantiers (sectorisation)
- respecter les consignes d'ordre environnemental et de sécurité

Fauche de la végétation

Domaine d'utilisation

Substrats : marais et berges d'estuaire

Pollution : moyenne à très forte

Polluant : fluide à visqueux

Mer : avec (et sans) marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- outils manuels : sécateur, faucille, cisaille
- débroussailleuse, faucardeuse*

Moyens annexes :

- support nautique : radeau/ponton
- évacuation : big bags, civières

Description/Principe

Consiste à faucher les plantes fortement polluées.

Sur les marais, elle peut-être réalisée à pied ou, de préférence, à partir de l'eau, soit à l'aide d'outils manuels (faux, faucilles, débroussailleuse à dos) ou d'engins mécanisés (faucardeuses*). Elle ne peut se faire que quand il n'y a plus de polluant (surtout fluide) sur l'eau (risque de pénétration dans la plante).

Les plantes fauchées doivent être évacuées au fur et à mesure.

La fauche n'est pas toujours justifiée (certaines plantes peuvent tolérer des souillures) ni, encore moins, systématiquement recommandée. L'effet de la fauche sur les plantes a des effets variables selon les espèces (de la totale incompatibilité à une forte tolérance) et, pour une même espèce, selon les saisons.

L'avis d'un expert botaniste est donc indispensable.

Elle peut aussi être pratiquée sur la végétation de rochers et de dunes, moyennant les mêmes restrictions.

Conditions d'utilisation

Pollution : massive, engluage important des parties aériennes des plantes ; ou quand il y a des risques évidents de souillures de l'avifaune

Site : berges d'estuaire ; marais intertidaux (+ rochers et pieds de dunes)

Impact sur le milieu

Physique : risque d'érosion si les espaces ainsi dénudés sont trop importants ou en cas de surpiétinement

Biologique : destruction possible du système racinaire puis érosion ; pénétration éventuelle d'hydrocarbure dans la plante via les chaumes

Performances

Rendement : dépend du site, des plantes, des outils utilisés

Déchets : végétaux plus ou moins englués

Observations

- s'entourer des conseils d'un expert botaniste quant à l'intérêt, aux effets et procédures de la fauche (saison, espèces...)
- limiter et canaliser la circulation pédestre au sein du marais
- autant que possible, procéder à partir d'embarcations à fond plat
- éviter la fauche intensive sur de vastes secteurs (procéder par îlots) notamment sur le front du marais
- en cas de fréquentation en cours ou à venir même momentanée de certaines espèces d'oiseaux, il peut être recommandé de faucher des plantes même faiblement souillées

Scarification**Domaine d'utilisation****Substrats** : Sédiments fins à grossiers hétérogènes, marais**Pollution** : légère à moyenne**Polluant** : amas plus ou moins visqueux**Mer** : avec marnage**Moyens nécessaires****Équipement de base :**

- griffe, scarificateur

Moyens annexes :

- moyens d'évacuation de déchets (sacs, quads)

Description/Principe

Consiste à scarifier un encroûtement d'hydrocarbures vieillis et intentionnellement laissés sur place afin de ne pas perturber le site. Ces griffures plus ou moins superficielles peuvent permettre, après dégradation du polluant la recolonisation animale et/ou végétale. En cas d'encroûtements épais de fioul lourd par exemple, celui-ci doit être retiré (sauf si l'évacuation n'est pas possible – site très isolé).

Conditions d'utilisation**Pollution** : dépôt plus ou moins épais, vieilli et durci sur place**Substrat** : sédiments mal triés, gravelo-vasards ; marais...**Site** : écologiquement sensible ; auto-nettoyage très limité ; supportant mal des opérations intensives de nettoyage**Impact sur le milieu****Physique** : évite le prélèvement de sédiments et les perturbations liées aux opérations intensives de nettoyage**Biologique** : permet la recolonisation à terme**Performances****Rendement** : (non approprié)**Déchets** : polluant reste sur place ; éventuellement, retrait de quelques encroûtement d'hydrocarbure durci**Observations**

- peut s'appliquer en cas de pollution parsemée en des sites très sensibles
- suppose une décision de non-intervention immédiate et la programmation d'une intervention différée plusieurs mois après l'accident

Biorestauration

Domaine d'utilisation

Substrats : tous types (abrités)

Pollution : légère à résiduelle

Polluant : fluide à visqueux
(biodégradable)

Mer : avec (et sans) marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- produits (nutriments)
- matériel d'épandage

Moyens annexes :

- engins motorisés pour support d'épandage

Description/Principe

Consiste à enrichir le milieu pollué en nutriments (de type engrais N-P-K) en vue de favoriser/augmenter les processus naturels de dégradation par les bactéries et autres micro organismes spécialisés. Cet ajout a pour effet d'accroître les populations de bactéries indigènes et d'augmenter leur activité de dégradation spécialisée. L'ensemencement de bactéries exogènes sélectionnées ne doit pas être envisagé sur le littoral, car son efficacité en milieu ouvert n'a jamais été démontrée.

Conditions d'utilisation

Pollution : résiduelle ; polluant dégradable

Substrat : tous types

Site : faiblement exposé

Impact sur le milieu

Physique : néant

Biologique : risque éventuel, en cas de traitement en grande échelle et de surdosage, d'une eutrophisation temporaire des eaux adjacentes

Performances

Rendement : variable selon le polluant (aucun rendement sur produit lourd), le produit, la température (saison, latitude), le substrat, la qualité chimique et bactériologique des eaux locales

Déchets : non approprié

Observations

- tous les composés d'hydrocarbure ne sont pas biodégradables, limitation notamment pour les alcanes lourds, les aromatiques lourds, les résines et les asphaltènes
- il existe une procédure spécifique d'évaluation préalable qui permet d'apprécier, au cas par cas, l'apport potentiel de la technique (guide « *Bioremediation in marine oil spills* » de l'Organisation Maritime Internationale-IMO)
- assurer la fourniture des équipements de protection individuelle minimum nécessaires : combinaison, cirés, bottes, gants, cagoule, lunettes, masques. L'opérateur peut être soumis à une exposition à des aérosols ou des pulvérulents
- doit souvent être envisagée en association à une opération favorisant l'aération du sédiment (hersage)

Cedre

Mesures de gestion des chantiers de nettoyage

-
- ▶ Fiche G 01 Définition du chantier
 - ▶ Fiche G 02 Sécurité du personnel
 - ▶ Fiche G 03 Sécurisation du chantier
 - ▶ Fiche G 04 Décontamination du personnel
 - ▶ Fiche G 05 Chantier et respect de l'environnement
 - ▶ Fiche G 06 Maintenance du matériel
 - ▶ Fiche G 07 Gestion des déchets
 - ▶ Fiche G 08 Suivi comptable des chantiers

Cedre

Définition du chantier

But

Cette étape a pour but de définir précisément :

- les techniques appropriées en fonction de la nature du littoral touché et du type d'arrivage ;
- les limites de l'intervention et le niveau de nettoyage (le recours à certaines techniques de nettoyage sur certains secteurs sensibles peut être préjudiciable pour l'environnement) ;
- l'organisation générale du chantier et notamment la localisation des accès et des sites d'entreposage de haut de plage.



Équipe d'évaluation

Ce travail sera réalisé par une équipe d'évaluation technique et environnementale attachée à la cellule de gestion de crise mise en place par les autorités :

- un représentant de l'autorité de commandement des opérations de terrain (en France : SDIS le plus souvent ou DDTM ou commune) ;
- un représentant de la commune concernée ;
- un spécialiste en recommandations environnementales, organisation du chantier (le Cedre en France) ;

Selon les sites, seront associés avec intérêt d'autres représentants tels que :

- propriétaire ou gestionnaire du site (OFB, ONF, Réserve naturelle, Conservatoire du Littoral, etc. ;
- ARS, secteurs de pêche ou fréquentés par le public ;
- associations environnementales ou patrimoniales.

Fiche de recommandations

Les recommandations techniques et préconisations diverses (notamment le niveau de nettoyage) seront définies conjointement par les différents participants lors de la visite commune sur le site et elles seront consignées sur une fiche de site qui mentionne les points suivants :

- la description du site et de la pollution ;
- les contraintes environnementales (sensibilité) et logistiques (accès, entreposage) ;
- les recommandations techniques (stratégies, techniques, procédures, moyens nécessaires) et préconisations environnementales ;
- les limites de l'intervention.

Dans le cadre d'une procédure de sélection d'un prestataire de nettoyage, ces fiches serviront d'annexes techniques du document de consultation aux entreprises. Elles serviront de référence lors de la procédure de réception des chantiers privés de nettoyage fin.

Préalable à l'ouverture

Prendre les dispositions administratives préalables à l'ouverture :

- obtenir les autorisations nécessaires (accès à propriété, déclaration de travaux, etc.) ;
- informer les organismes compétents ;
- clarifier les responsabilités de chacune des parties (commune, entreprises, donneur d'ordre) ;
- publier l'information en mairie.

Sécurité du personnel

Sensibilisation du personnel aux risques

Les intervenants doivent être informés (avec rappel auprès des chefs d'équipes) des risques que présentent les conditions de travail relatives au polluant mais aussi à l'environnement, notamment :

- l'évolution d'engins lourds (roulant ou levant) à proximité immédiate ;
- les reliefs et la portance des terrains (falaises, marais, etc.) ;
- les mouvements de la mer (déferlantes, marée, etc.) ;
- les conditions météorologiques.

Équipements de Protection Individuelle (EPI*)

Le port des équipements de protection individuelle (EPI*) est obligatoire, et à rappeler en permanence, surtout pour les opérations présentant des risques réels de :

- souillure de la peau : port de gants, de bottes, d'une combinaison coton, d'une sur-combinaison jetable, etc. ;
- souillure ou de blessure des yeux, lors d'opérations de lavage à l'aide de nettoyeurs à pression, par exemple : port de lunettes, d'une cagoule et d'un masque contre les projections de polluant ou d'éclats de roche, mais aussi contre l'inhalation d'aérosols ;
- atteinte des voies respiratoires : port d'un masque de protection respiratoire adapté aux vapeurs générées par le produit
- chute de cailloux, lors d'une intervention en contrebas d'un surplomb, ou glissade dans les rochers, par exemple : port d'un casque de chantier ;
- glissade dans l'eau, lors du maintien à l'eau d'une crêpe d'aspiration de pompage à partir de rochers glissants surtout en site exposé par exemple : port d'un gilet de flottaison.

La majorité de ces EPI* fait l'objet de normes de fabrication définies en fonction du type d'exposition aux risques auxquels est soumis l'opérateur (hydrocarbures, chutes, noyade, etc.). Il convient évidemment de respecter ces normes dès lors que ces conditions de travail sont ou peuvent être rencontrées.

Aux EPI* obligatoires peuvent être ajoutées toutes les tenues susceptibles d'apporter un confort appréciable au personnel : gants et sous-vêtements en coton pour limiter les méfaits de la sudation suite à une mauvaise aération, par exemple.

Assistance médicale de première urgence

Fortement recommandée, voire imposée sur certains chantiers à risques, elle peut être assurée notamment par :

- la présence d'une trousse de pharmacie dont le contenu de base sera adapté aux spécificités des travaux (ajout de collyre en cas de risque évident de projections de polluant dans les yeux, par exemple) ;
- la présence recommandée au sein des opérateurs de personnels (à raison de 2 par équipe en sites à risques) disposant d'une Formation aux Premiers Secours ;
- l'affichage de tous les n° de téléphone d'urgence en cas d'accident grave ;
- le fléchage précis du chantier à partir de la route (notamment pour les sites éloignés dont le nom n'est pas mentionné sur les cartes existantes) pour permettre l'arrivée rapide des secours.

Contact permanent

Sur les sites à risques, le contact permanent de l'ensemble des différents membres d'une équipe doit être assuré. Pour ce faire :

- ne pas laisser une personne travailler isolée ;
- disposer de moyens de transmission compatibles, adaptés au relief du terrain. Ne pas se reposer sur un simple téléphone portable (qui ne fonctionne pas au pied de falaise ou, cas très fréquent en sites naturels éloignés, qui peut ne pas profiter d'une totale couverture par le réseau, par exemple) ;
- affecter une personne au poste de contrôle (en haut de falaise par exemple) assurant en permanence un contact (de visu ou à portée de voix) et toujours équipée d'au moins un walkie-talkie pour permettre une alerte rapide des secours en cas de besoin.

Santé et hygiène

Selon la spécificité du chantier (importance, durée, nature des travaux et dangerosité) la législation du travail peut imposer des mesures d'hygiène nécessitant l'existence d'installations spécifiques, en divers endroits :

- un site de décontamination permettant le retrait, après lavage sommaire, des EPI* les plus souillés ;
- des sanitaires, un vestiaire abrité, une zone de restauration abritée, etc.

Sécurisation du chantier

Sécurisation des installations de chantier

Elle s'applique à tout le chantier au sens large (site de nettoyage, lieux de vie et accès) :

- baliser, signaler les différents lieux d'activités (sur la plage), de vie (vestiaire, repas, douche, WC, etc.), d'entreposage présentant un risque (carburants, matériels, fosse à déchets, etc.) ;
- définir un site propre d'entreposage des carburants à l'écart du site vestiaire ;
- prévoir un extincteur par bungalow ;
- prévoir un dispositif de récupération des fuites de carburants ;
- prévoir l'éclairage minimum des installations et des abords en période hivernale.

Pour la sécurité du public :

- mettre en place la signalisation nécessaire (balisage, panneau d'interdiction, etc.) pour empêcher l'accès du site à toute personne étrangère au chantier ;
- retirer tous matériels, produits ou parties d'installation susceptibles de présenter un quelconque danger pour une personne mal intentionnée ou inconsciente : par exemple, en fin de journée, les cordes de descente sur falaise ou les jerricans de carburant, ou en fin de chantier, les piquets et mousquetons sur falaise et abords.

Intervention en milieu périlleux

Tous travaux de type périlleux (en hauteur, en plongée) imposent le recours à des opérateurs spécialisés professionnels formés, habilités et expérimentés à travailler dans un environnement à risques (plongée, hauteurs, etc.). Cela ne doit surtout pas empêcher d'informer ces opérateurs sur les risques propres au chantier de dépollution du littoral (polluant, techniques de nettoyage, autres intervenants, environnement météo-océanique, etc.).

On veillera à ce que toutes les précautions soient prises et observées en permanence; on s'assurera notamment que :

- les intervenants (cordistes ou plongeurs) sont tous des professionnels habilités et possèdent la formation, la qualification et les aptitudes, professionnelles et physiques, requises ;
- les équipements et les installations sont conformes à la réglementation en vigueur ;
- les équipements sont en bon état de fonctionnement et sont en permanence contrôlés (avec fiche de contrôle) par une personne habilitée de la société ;
- il en est de même des installations spécifiques avec une vérification instrumentée (tous moyens de levage de type tyrolienne, ou tous dispositifs et équipements spécifiques de plongée, par exemple) par un organisme certifié avant l'ouverture du chantier ;
- toutes les personnes présentes sur le chantiers ont une autorisation : une formation minimum est imposée aux représentants du donneur d'ordre, aux conseillers et contrôleurs divers qui veulent accéder à ce type de chantier très spécifique.

En site à falaises :

- faire passer la sécurité du personnel avant la dépollution ;
- faire le diagnostic des risques d'éboulement des parois verticales (en cas de forte dangerosité apparente du site, faire appel à un géologue) :
 - procéder systématiquement à l'évaluation de la stabilité des parois par une personne compétente et habilitée de la société de cordistes en charge des travaux en hauteur ;
 - poser, si besoin, des témoins d'écartement des fissures ;
 - « purger » tout sol ou roche en surplomb menaçant de tomber.
- sécuriser le site : s'assurer du balisage et du dispositif de sécurité (garde-corps à au moins 3 m du bord) ;
- vérifier que les opérateurs-piétons ont reçu la formation de base requise pour utiliser les installations spécifiques de cheminements installées par les cordistes le long de la falaise ;
- s'assurer du contrôle quotidien des EPI* et installations d'évolution des cordistes et des piétons.

Décontamination du personnel

Domaine d'utilisation

Substrats : non approprié

Pollution : tous types

Polluant : tous types

Mer : avec et sans marnage



Moyens nécessaires

Équipement de base :

- aire plane ou peu pentue suffisante (30 m² environ)
- bâche plastique, géotextile de type feutrine ou bidim
- bandes fluo et piquets de chantiers
- pédiluve, bacs bas de 1 m² environ
- brosses, chiffons, éponge pour dégrassage grossier
- nettoyeur eau chaude à haute pression
- produit de lavage (pour cirés et bottes)
- huile de table et savon pour les mains

Moyens annexes :

- poubelles, fûts
- bacs de stockage/décantation des effluents
- absorbants
- pompe de transfert/reprise
- éventuellement selon l'importance du chantier : bungalows de chantier (vestiaire, abri, petits matériels)

Description/Principe

Le but de la décontamination est de permettre au personnel de quitter le chantier dans des conditions d'hygiène et de confort aussi satisfaisantes que possible mais aussi de limiter le transfert de pollution en dehors de la plage. Le principe est de faire suivre au personnel une chaîne de nettoyage qui va du plus sale au plus propre, sur une plate forme étanche où l'on peut récupérer les effluents de lavage.

Le dégrassage grossier des mains (huile de table et chiffon ou éponge), des cirés et des bottes est effectué en entrant (par brossage ou par tamponnage, avec l'ajout éventuellement d'un solvant non toxique pour les tenues), suivi d'un nettoyage des cirés (à l'aide d'un jet d'eau tiède à basse pression dirigé vers le bas de façon à limiter les projections vers le visage qui sera protégé par la capuche et éventuellement un écran facial). Le retrait des vêtements de protection doit se faire au fur et à mesure de l'avancée dans le dispositif. Le lavage fin de la peau se fait ensuite à l'aide d'un savon hypoallergique.

Conditions d'utilisation

Pollution : tous types (polluant et ampleur)

Substrat : non approprié

Site : non approprié

Impact sur le milieu

Physique et Biologique : uniquement si mauvaise prise en compte de la sensibilité du site (végétation sensible) et si étanchéité défectueuse

Performances

Rendement : variable (cadence possible d'une minute/homme avec un travail simultané aux 3 postes de dégrassage grossier, de lavage/rinçage et d'essuyage final)

Personnels requis : variable selon la taille du chantier : 2 à 3 personnes affectées au moins aux heures de fermeture du chantier ou entr'aide mutuelle

Déchets : polluant plus ou moins chargé en sédiments, effluents pollués éventuellement plus ou moins émulsionnés (produit de lavage), solides divers (absorbants, chiffons, etc.)

Observations

- procéder avec méthode et bien délimiter l'aire de décontamination et les cheminements : baliser (utiliser des piquets qui permettent à la fois d'attacher les rubans de chantier et de fixer le film plastique sur le sol)
- respecter les consignes d'ordre environnemental et de sécurité : récupérer les effluents de lavage et les éliminer dans un centre spécialisé. Veiller à l'étanchéité du dispositif (recouvrement des films perpendiculairement à la pente) et surveillance
- contrôler la pression et la température du jet d'eau avant de procéder au lavage des personnes, se protéger des projections et des aérosols, ne pas utiliser de produits du type White Spirit, essence, gazole ou abrasifs sur la peau.

Chantier et respect de l'environnement

Contraintes environnementales

Respecter l'environnement et limiter les atteintes : durant toute la durée du chantier (de sa création à son repli) et quelle que soit la sensibilité du site, mais avec une attention encore plus marquée en un site naturel :

- ne pas dégrader inutilement le couvert végétal ni détruire des plantes rares ou protégées légalement : suivre les conseils des experts environnementaux notamment botanistes qui définiront l'emplacement précis de l'implantation des accès et des installations de chantiers (cabanes, site de décontamination, cheminement, site d'entreposage des équipements, des déchets, etc.) ;
- limiter les méfaits de la sur-fréquentation, piétonne et motorisée : canaliser la circulation (plan, balisage, interdictions), poser des cheminements artificiels (ganivelles, bâches, plaques, piste de roulement, etc.), utiliser des quads ;
- éviter tout transfert de pollution (de la plage vers l'arrière-plage) : créer des sites de décontamination ou au moins de simple décrottage selon le cas ;
- respecter la propreté du site :
 - regrouper les machines, les surélever du couvert végétal (les poser sur des palettes, par exemple) ;
 - anticiper toute fuite intempestive des machines (pose de voiles de protection de type géotextile) ;
 - mettre des poubelles à disposition et nettoyer tout le site en fin de désinstallation du chantier.

Autorisation préalable

L'accès aux chantiers suppose parfois le passage via une propriété privée :

- demander l'autorisation au propriétaire ou gestionnaire (se renseigner auprès de la mairie) ;
- procéder à une visite préalable conjointe sur le site pour expliquer les solutions et actions envisagées, et faire constater l'état du site (dégradations existantes).

Outre un impact écologique plus ou moins important, la création d'un accès peut entraîner une modification de l'usage (et de la fréquentation) d'un secteur ; toute création d'accès doit donc être étudiée avec l'ensemble des parties intéressées, en premier lieu la commune, le gestionnaire du site, mais aussi les autorités départementales, les associations environnementales, etc.

Il est parfois possible de créer ou rouvrir un accès sans entraîner de dégradations importantes ou irréversibles :

- rechercher notamment les anciens sentiers ;
- se renseigner sur une éventuelle pratique locale de débroussaillage plus ou moins régulière (création de coupe-feu, ou plan de chasse, etc.).
- dans certains cas exceptionnel (chantier en site naturel très sensible à l'écart des chemins existants), envisager éventuellement le recours à un hélicoptère pour l'amenée de matériel et pour l'évacuation de volumes importants de déchets (opération coûteuse mais qui peut s'avérer rentable si elle est bien programmée simultanément en plusieurs sites. Elle nécessite une autorisation préalable).

Réhabilitation et restauration des sites dégradés

La réhabilitation des espaces terrestres dégradés suite aux opérations de nettoyage (accès, sites d'entreposage, etc.) est toujours à prévoir :

- avec la problématique : « peut-on et doit-on revenir à la situation antérieure ? » ;
- en concertation avec toutes les parties concernées ;
- sous couvert d'un diagnostic réalisé par des spécialistes environnementaux (botanistes) ;

Les objectifs et les modalités de cette restauration varient en fonction :

- du type de couvert végétal (sa sensibilité et sa capacité d'auto-régénération)
- de l'usage du site (l'usage initial et celui éventuellement prévu à terme dans le cadre d'un projet d'aménagement antérieur à la pollution)

Toute réhabilitation de la sorte doit faire l'objet d'un suivi botanique de façon à :

- valider/rectifier les procédures et techniques choisies,
- disposer d'éléments pertinents permettant de décider quand arrêter les opérations de réhabilitation.

La mise en garde qui empêche la circulation motorisée et piétonne facilite la régénération de la végétation. Elle doit être réalisée le plus rapidement possible, en mode préventif (canalisation) mais aussi en mode curatif par la fermeture progressive d'espaces dégradés, au fur et à mesure de l'avancement du chantier et, d'une manière générale, systématiquement à la fermeture de ce dernier.

Maintenance du matériel

Entretien et réparation

Une petite panne peut pénaliser lourdement, voire arrêter un chantier :

- former les opérateurs à l'utilisation des machines (les informer des erreurs d'utilisation à ne pas faire, les petites pannes facilement détectables et réparables, etc.) ;
- entretenir régulièrement les machines (pompes, nettoyeurs à pression, etc.) ;
- affecter un mécanicien par chantier ;
- prévoir un site de réparation / maintenance équipé (sur la base-vie, par exemple) ;
- entreprendre une opération systématique de maintenance/nettoyage/révision en fin de semaine.

Sauvegarde

Le repli, tous les soirs, du matériel hors de la plage n'est pas nécessaire tant qu'il reste hors de l'atteinte de la mer, mais en cas de prévision de mauvaise météo, il faut veiller à le remonter plus haut sur la plage voire en arrière de la plage :

- ne pas se fier au seul coefficient de marée sur les côtes Manche – Atlantique ;
- ne pas se méprendre sur une soi-disant absence de variation du niveau de la mer en Méditerranée ;
- toujours suivre les bulletins météo et anticiper les surcotes.

Fiabilité et conformité du matériel

En cas de recours à des engins TP et autres engins de chantier, s'assurer que les vérifications légales que doivent subir ce type d'engins soient conformément réalisées. Il en est de même des embarcations nautiques.

Vols et dégradations

Ces méfaits sont toujours, quelle que soit la commune, à envisager sur les chantiers et même sur la base-vie, surtout le week-end. Prévoir en conséquence :

- sur le chantier : des bungalows de chantier munis de cadenas (souvent cela ne sera toutefois pas suffisant) ;
- tous les soirs, et selon les lieux tous les midis aussi, le ramassage des outils et équipements de petite taille, voire des pièces démontables de tous équipements restant à l'extérieur (exemple : panier inox de petite cribleuse*) ;
- tous les soirs, la vidange des bacs de stockage (notamment de type bâche souple, « facile » à percer) renfermant du polluant récupéré ou même de l'eau (n'y laisser que la quantité nécessaire d'eau pour assurer le maintien du bac en cas de coups de vent) ;
- le week-end, le repli des équipements de tailles plus importantes vers un site surveillé ; ne rien laisser de valeur ou d'utilité première pour le chantier, à l'intérieur des bungalows (caisse à outils, extincteur, par exemple) ;
- en permanence, du personnel en surveillance sur les sites de la base-vie, et de stockage du matériel.

Gestion des déchets

Principes

→ Définition

Il s'agit ici des sites d'entreposage primaire de haut de plage ou d'arrière plage immédiate. L'importance de ces sites primaires varie avec celles des chantiers. Cela va du simple point d'entreposage quotidien de quelques dizaines ou centaines de kilos (en vrac ou conditionnés en sacs big bags ou en bennes) au site plus important regroupant ceux précédemment mentionnés et que l'on peut assimiler à un entreposage tampon primaire.

→ Recommandations

Éviter tout transfert de pollution, à chaque niveau de la chaîne d'entreposage, et limiter les dégradations induites des sites :

- protéger le sol de toute infiltration, de la sur-circulation (bâches, géotextiles) ;
- bien gérer l'espace : évaluer les opérations de ruptures de charges et la circulation des engins d'évacuation.

Trier très tôt les déchets :

- le tri dès la plage est à privilégier, mais parfois il est difficile de disposer de contenants en nombre suffisant et il arrive alors que des petites quantités de déchets pollués initialement triés soient en fait évacués en un même contenant ;
- sinon le faire là où l'on a de la place et un peu plus de temps, c'est-à-dire sur le site d'entreposage tampon (tri et reconditionnement éventuel) ;
- les sacs ou les big bags sont très pratiques (avec du polluant non fluide, évidemment) mais, de façon à mieux les gérer par la suite, il faut dès la sortie du chantier en identifier le contenu en utilisant un code de couleurs (à l'aide de différentes bombes de peinture, par exemple).

Sites d'entreposage tampon primaire

→ Identification

S'il n'a pas été préalablement défini dans un plan d'urgence :

- rechercher un site propice en termes de sensibilité et de proximité et d'accès, avec l'aide des responsables locaux et des spécialistes *ad hoc* en environnement et gestion des déchets (la DREAL en métropole) ;
- faire appel à un botaniste très rapidement ;
- bien définir les responsabilités respectives des différentes parties dans le choix, l'aménagement, l'exploitation et la remise en état du site.

→ Gestion

L'exploitation du site nécessite :

- des aires d'entreposage spécifiques adaptées aux différents types de déchets ;
- du personnel, prévoir notamment :
 - au moins une personne pour surveiller les opérations de déchargement et faire respecter les procédures de tri dans les différentes aires d'entreposage ;
 - l'intervention régulière d'une équipe pour la maintenance du site, en particulier lors des périodes de pluie ;
 - la fermeture du site en dehors des heures de déchargement, de façon à ce que le site ne se transforme en un dépotoir de rebuts divers ;
 - le suivi formaté des déchets entrant et sortant (type avec si possible la teneur moyenne en hydrocarbures, volume, origine, destination).

→ Réhabilitation

La remise en état du site suppose :

- un diagnostic de contamination réalisé par un organisme spécialisé dans la pollution des sols, des travaux éventuels de décontamination, et le quitus in fine de l'autorité ;
- dans certains cas, une expertise botanique en vue de définir une opération de restauration du couvert végétal.

Suivi comptable des chantiers

Principe

Le suivi journalier des chantiers permet de récapituler les moyens humains et matériels mis en place sur les différents chantiers de nettoyage ouverts sur le littoral.

Pour ce faire, il est nécessaire, en fin de journée, de remplir des fiches de chantier synthétisant les opérations menées et comptabilisant les moyens mis en œuvre, site par site, durant la journée.

La rédaction de ces fiches de suivi journalier des chantiers est un point clé de la gestion de la lutte :

- durant la crise, leur exploitation fournit un outil de gestion et de communication appréciable en permettant d'avoir en permanence une vue globale des moyens humains et matériels utilisés sur les chantiers et de disposer à tout moment d'un historique, global ou détaillé, des chantiers (nombre, moyens utilisés) ;
- après la crise, elles constituent la base d'un retour d'expérience, de l'archivage et voire aussi de procédures d'indemnisation.

Rédaction

→ Contenu

Les informations requises sur les chantiers en cours concernent principalement les points suivants : localisation, date, moyens humains et matériels (effectif, origine), opérations (nature) et résultats (volumes déchets).

[nota : les équipements de protection individuelle (cirés, combinaisons jetables, masques, lunettes, gants, bottes, etc.) et les outils de ramassage manuel (pelles, racloirs, sacs, etc.) ne sont pas à inventorier quotidiennement mais à comptabiliser en bloc à l'échelle du PC de chantiers une fois par semaine. Toutefois, leur approvisionnement (besoins pour les jours suivants) doit être anticipé.]

→ Rédacteur

Une fiche de suivi journalier d'un chantier (cf. fiche ci-après) sera remplie tous les soirs par les différents chefs de chantier et transmises au PCA* pour la réunion du soir.

Une compilation de toutes les fiches sera réalisée quotidiennement par le PC de chantiers qui la transmettra au PCO* et au COD*.

À noter qu'en France, un système informatisé de remontée et de traitement de l'information a été mis en œuvre par le Cedre lors de la pollution du Prestige (2002).

ARGEPOL* (Archivage et gestion de données dans le cadre d'une pollution littorale) permet de suivre la situation depuis l'observation de la pollution jusqu'à la restauration du littoral et même au-delà.

Il comptabilise précisément et quotidiennement le nombre de personnes mobilisées sur un chantier, leur origine, les travaux menés (techniques de nettoyages), ainsi que les matériels utilisés (le type de matériel, le nombre, leur origine). Il permet d'intégrer des documents multimédias associés à un chantier ou à une observation de pollution.

Il permet la réalisation de rapports et de cartes en mode automatisé à partir des données renseignées. Ces documents peuvent ensuite être insérés en pièces jointes dans le portail ORSEC* et constituer une source d'informations pour les autorités.

RÉFÉRENCE DE L'ACCIDENT :
FICHE CHANTIER (une fiche établie par jour et par chantier)
À transmettre à :

Site : Commune :	PC de chantiers :	Date :
---------------------	-------------------	--------

Personnel		(2) Nature des travaux	Matériel employé			Déchets récupérés		Remarques diverses	Besoins ressentis pour le lendemain
Effectif (nombre)	(1) Origine		Quantité	(1) Origine	(3) Type	Quantité (m³)	(4) Nature		
								(Incidents, pannes, changements équipes, etc.)	Hommes/ Matériels

Comment remplir ?
(liste non exhaustive, à adapter en fonction des situations)

(1) Origine		(2) Nature des travaux	(3) Type de matériel			(4) Nature des déchets
Matériel	Personnel		Matériel lourd / logistique	Matériel spécifique	Consommables	
Commune *	Commune *	Ramassage manuel	Engins TP (ex : tractopelle)	Barrage	Géotextile	Polluant pur
Intercommunalité *	Intercommunalité *	Récupération	Engins agricoles (ex : tracteurs)	Nettoyeur HP	Absorbants	Algues polluées
SDIS *	POLMAR	Ramassage mécanique	Moyens d'approvisionnement en eau	Pompe de transfert	Produits de lavage	Sédiments pollués*
UIISC *	SDIS *	Lavage haute pression	Autres *	Lance impact	Bâches	Macrodéchets pollués
Société privée *	UIISC*	Coupe / taille de végétation		Stockages (ex : bennes)	Autres *	Consommables souillés
Autres *	Société privée*	Autres *		Cribleuses		Autres *
	Autres *			Autres *		

*préciser

Complément d'information

- Glossaire et sigles ————— E1
- Bibliographie et adresses Internet utiles ————— F2

Glossaire et sigles

Les sigles et abréviations marqués par * dans le texte sont explicités ci-dessous.

Affouiller/affouillement : action de creuser par la base.

Andain : rangée ou entassement linéaire de polluant formé par racleage du substrat pollué afin de faciliter la collecte sélective.

ARGEPOL : archivage et gestion de données dans le cadre d'une pollution littorale : C'est un outil de gestion de crise informatisé français qui lors d'un événement de pollution permet de remonter et traiter l'information et de tirer des enseignements. Il a été développé par le Cedre lors de la pollution du *Prestige*.

COD : centre opérationnel départemental.

Cribleuse : engin qui permet de prélever une épaisseur de sable de 5 à 20 cm et de le tamiser à travers un tapis grillagé métallique vibrant guidant les refus de criblage vers un bac de stockage et permettant ainsi de récolter les déchets solides et les boulettes de pétrole.

Désémulsifiant : produit liquide pour briser les émulsions pâteuses d'eau dans le pétrole que l'on récupère sur le littoral ou en mer.

Ecrémage : récupération sélective des hydrocarbures à la surface de l'eau à l'aide d'un écrémeur.

Effet Venturi : nom donné à un phénomène de la dynamique des fluides, selon lequel un fluide en écoulement subit une dépression là où la vitesse d'écoulement augmente, ou encore là où la section d'écoulement se rétrécit. L'effet Venturi peut être utilisé pour créer une dépression et ainsi réaliser une aspiration par exemple pour mélanger des liquides (un liquide mis en dépression aspire l'autre liquide et permet le mélange), par exemple de l'eau et de l'air dans la lance impact ou de l'émulseur et de l'eau dans les lances à mousse des sapeurs-pompiers.

EPI : équipement de protection individuelle.

Estran : portion du littoral entre les plus hautes et les plus basses mers.

Faucardeuse : embarcation ou machine destinée à faucher la végétation polluée, notamment sur les berges et marais.

Flooding : saturation de la plage en eau.

Flushing : technique de nettoyage permettant de remobiliser de la pollution fraîche à l'aide de jets basse pression afin de la canaliser vers un point de collecte.

Granulométrie : étude de la taille des grains d'un sol ou d'un sédiment et de leur répartition en différentes classes de taille.

Jusant : marée descendante.

Laisse de mer : accumulation par la mer de débris naturels ou d'origine anthropique*, drossée au plus haut point atteint par la marée haute sur l'estran*.

Lance-impact : lance dotée d'un système Venturi permettant de générer un flux d'eau chargé de bulles d'air permettant de remobiliser le polluant du sédiment et de certains ouvrages et d'en faciliter la récupération.

Merlon (talus) : construction ou levée de sédiment, par exemple de sable sur une plage pour confiner du polluant ou de sédiments sur une aire de stockage pour limiter l'étalement de déchets.

Mésotidal : marnage entre 2 et 4 m ; milieu macrotidal (marnage > 4 m) avec le record dans la baie de Fundy où le marnage dépasse 17 m.

Microtidal : marnage < 2 m ; caractéristique des mers fermées (30 cm à l'ouest est la mer Baltique ; Méditerranée au marnage compris entre 20 et 50 cm).

Milieu oléophile : qui présente une affinité pour les corps gras.

PCA : poste de commandement avancé.

PCO : poste de commandement opérationnel.

ORSEC : organisation de la réponse de sécurité civile (en France).

POLMAR : dispositif du plan ORSEC dont la France s'est dotée pour faire face aux conséquences d'une pollution marine accidentelle, par hydrocarbures ou produits chimiques, et protéger les personnes, les biens et l'environnement.

Rémanence : propriété d'un produit à persister dans l'environnement.

Structure anthropique : structure dont les éléments sont construites par des humains.

Surfwashing : technique qui consiste à descendre des sédiments vers le bas de plage afin de les soumettre à l'action nettoyante naturelle de la mer.

Zone intertidale = estran : bande de la limite de marée haute à la limite de marée basse.

Zone subtidale : qualifie une zone située en deçà des variations du niveau de l'eau dues aux marées, et par conséquent toujours immergée.

Cedre

Bibliographie et adresses Internet utiles

Baker J.M. Ecological Effectiveness of Oil Spill Countermeasures: How Clean is Clean? *Pure and Applied Chemistry*. 1999 ; vol. 71, n°1. pp.135 151.

Boust C., Le Roy D. *Produits d'hygiène cutanée à usage professionnel*. Paris : INRS. 2018. 4 p. (Fiche pratique de sécurité).

Disponible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%2058>

Calvez I., Peigne G., Kerambrun L. *Deepwater Horizon : retour d'expérience. Rapport final*. R.12.25.C. Brest: Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2012 p. 181 p.

Cedre. Efficacité des produits / Produits de lavage. Cedre.

Disponible sur : <http://wwz.cedre.fr/Analyses-et-Recherche/Efficacite-des-produits>

Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres. *Eléments d'informations techniques concernant le nettoyage des sites naturels pollués par la marée noire du pétrolier Erika - Décembre 1999 / Synthèse réalisée à partir d'informations obtenues sur site et de documents fournis par le Cedre, le Conservatoire du Littoral et la Direction régionale de l'Environnement : Document réalisé par le Conservatoire du Littoral à l'attention des gestionnaires et des encadrants des chantiers de nettoyage des terrains du Conservatoire du Littoral - version janvier 2000*. Bretagne : Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres. 2000. Non p.

Dagorn L., Dumont A. *Les barrages antipollution manufacturés*. Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2012. 96 p. (Guide opérationnel).

Disponible sur : <http://wwz.cedre.fr/Ressources/Publications/Guides-operationnels/Barrages-manufactures>

European Commission, Directorate-General for Environment, Jacques, T., O'Sullivan, A. *Système de référence d'impact : système d'information de la Communauté pour la maîtrise et la réduction de la pollution : effets des hydrocarbures sur l'environnement marin : impact des hydrocarbures sur la faune et la flore*. Bruxelles : Publications Office. 2004. 80 p.

Disponible sur : <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/00a5fbd9-d93c-475a-bf56-b0ce6853eeef>

Guena A. *Les barrages antipollution à façon*. Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2012. 88 p. (Guide opérationnel).

Disponible sur : <http://wwz.cedre.fr/Ressources/Publications/Guides-operationnels/Barrages-a-facon>

IMO. *Bioremediation in marine oil spills. 2004 edition. Guidance document for decision making and implementation of bioremediation in marine oil spills*. Londres : International Maritime Organization (IMO). 2004. 49 p. (I584E).

Disponible sur : https://doc.cedre.fr/index.php?lvl=notice_display&id=4301

IPIECA, IOGP. *Préparation et lutte contre les déversements d'hydrocarbures : une introduction. Document d'orientation pour l'industrie du pétrole et du gaz.* Londres : International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA). 2019. 32 p.

Disponible sur : <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/pr%C3%A9paration-et-lutte-contre-les-d%C3%A9versement-d-hydrocarbures-une-introduction/>

IPIECA, IOGP. *Shoreline response programme guidance. A technical support document to accompany the Ipieca-IOGP guidance on oiled shoreline assessment and shoreline clean-up techniques.* Londres : International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA). 2020. 74 p.

Disponible sur : <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/shoreline-response-programme-guidance/>

Kerambrun L. *Reconnaissance de sites pollués par des hydrocarbures. Guide opérationnel sur l'évaluation de la pollution du littoral.* Edition revue et augmentée. Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2006. 41 p. (Guide opérationnel).

Disponible sur : <http://wwz.cedre.fr/Ressources/Publications/Guides-operationnels/Reconnaissance-de-sites>

Kerambrun L., Laruelle F., Cariou G., De Nanteuil E., Merlin F., Le Guen B., Peigne G. *Evaluation des matériels et des techniques de lutte sur le littoral / Rapport final : retour d'expérience de la pollution de l'Erika. R.01.56.C/B.* Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2001. 76 p. + Annexes.

Kerambrun L., Laruelle F., Guena A., Le Gendre R., Beau N. *Evaluation de matériels et de techniques de lutte sur le littoral. Retour d'expérience de la pollution de l'Erika. Rapport final. R.02.27.C.* Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2002. 110 p.

Kerambrun L., Paul M., André S. *Operational guide for the clean-up of marine litter on the coastline. Guide prepared in the framework of the CleanAtlantic project (WP7.4). R.21.50.C.* Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2021. 53 p.

Lavenant M. *Guide de révision des plans Polmar-terre. Edition 2002 (dans le cadre de la programmation 2001). Assistance technique dans le cadre de la révision des plans Polmar-Terre départementaux.* Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2003. 161 p.

Loi n° 93-1418 du 31 décembre 1993 modifiant les dispositions du code du travail applicables aux opérations de bâtiment et de génie civil en vue d'assurer la sécurité et de protéger la santé des travailleurs et portant transposition de la directive du Conseil des communautés européennes n° 92-57 en date du 24 juin 1992. Paris : Légifrance. 1994. JORF n°1

Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000361975/>

Poncet F., Porhel M., Poupon E. *Gestion des déchets issus d'une pollution accidentelle des eaux.* Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2022. 113 p. (Guide opérationnel).

Disponible sur : <http://wwz.cedre.fr/Ressources/Publications/Guides-operationnels/Gestion-des-dechets>

POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline cleanup and Oiled Wildlife interventions). *Oiled shoreline cleanup manual*. Valletta : Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea (REMPEC). 2013. 61 p.

Disponible sur : <http://www.posow.org/documentation/manual/manual/cleanup-manual-2/>

Les leçons techniques de l'Erika et des autres accidents maritimes en matière de lutte à terre contre une marée noire (Cedre) / SaferSeas. Brest (FRANCE) : 13-16 mars, 2002. Vol 1 et 2. Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux). 2002. Non p.

Site internet du Cedre rubrique Accidentologie

Amazzone

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Amazzone>

Amoco Cadiz

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Amoco-Cadiz>

Deepwater Horizon

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Deepwater-Horizon>

Erika

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Erika>

Exxon Valdez

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Exxon-Valdez>

Prestige

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Prestige>

Tanio

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/Tanio>

TK Bremen

Disponible sur : <https://wwz.cedre.fr/Ressources/Accidentologie/Accidents/TK-Bremen>

Cedre