

Annexe. 7 **Fiches de renseignements techniques sur le (pré) traitement et l'élimination ultime**

PRÉTRAITEMENT	Criblage
Description	<p>Séparation des déchets solides, du sable et des cailloux de la phase liquide (hydrocarbure et / ou eau). Le dégrillage est le terme utilisé pour les grosses particules (quelques cm), et le criblage pour les particules de quelques dizaines de dm. Le tamisage est le terme utilisé pour les petites particules (quelques mm).</p> <p>Remarque : Certains équipements sont spécifiquement conçus pour trier et retirer les métaux d'éléments non métalliques (plastique et non-plastique), en utilisant un équipement de tri magnétique.</p>
Type de déchets	<p>Liquide</p> <p>Sables, galets et cailloux pollués</p>
Situation / potentiel dans le pays	Utilisation de moyens de construction ou de travaux publics faciles à importer ou à mettre en œuvre dans tous les pays.
Intérêt	Permet la séparation des solides et des sédiments de la phase liquide pour un traitement plus spécifique.
Critère d'entrée	Tous types de déchets liquides, pâteux, solides, sables, galets et cailloux pollués.
Contraintes opérationnelles	<p>Fait appel à du personnel, du matériel de criblage, de l'énergie et des espaces de stockage pour les matériaux ségrégués. Une étape de fluidification préalable peut être nécessaire sur des matériaux contenant des hydrocarbures vieillis, émulsifiés ou enfermés dans des porosités.</p> <p>Les installations peuvent varier, allant d'un simple tamis à des moyens lourds comme des cribleuses industrielles.</p>
Impact	Minimum si l'équipement est adéquat, s'il est correctement utilisé et s'il n'y a pas de fuite d'hydrocarbures.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations concernant le transport, la manutention et le stockage d'hydrocarbures.
Efficacité	Dépend de l'équipement.
Coût	CAPEX et OPEX variant beaucoup selon le type d'installation achetée ou louée.
PRÉTRAITEMENT Tri granulométrique	
Description	Sépare les sédiments (et autres déchets) en fonction de leur taille (sédiments fins, sable, galets, cailloux, gravier, blocs).
Type de déchets	Sable, galets et cailloux pollués
Situation / potentiel dans le pays	Utilisation de moyens de construction ou de travaux publics faciles à importer ou à mettre en œuvre dans tous les pays.
Intérêt	<p>Certains équipements sont spécifiques au sable, d'autres aux graviers et d'autres aux galets et cailloux.</p> <p>La plupart des contaminants organiques et inorganiques ont tendance à se lier aux fractions fines du sol (argile et vase). Ainsi, la séparation des particules d'argile fine et de vase, des particules de sol plus grossières comme le sable et le gravier, permet de concentrer la pollution dans un plus petit volume de sol qui peut ensuite être traité ou éliminé.</p>
Critère d'entrée	Tous types de déchets pâteux et solides, les sables, galets et solides pollués.
Contraintes opérationnelles	Fait appel à du personnel, du matériel de criblage, de l'énergie et des espaces de stockage pour les matériaux ségrégués. Une étape de fluidification préalable peut être nécessaire sur des matériaux contenant des hydrocarbures vieillis, émulsifiés ou enfermés dans des porosités.
Impact	Minimum si l'équipement est adéquat, s'il est correctement utilisé et s'il n'y a pas de fuite d'hydrocarbures.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations concernant le transport, la manutention et le stockage d'hydrocarbures.
Efficacité	<p>Selon les caractéristiques de l'équipement utilisé, ce traitement permet le tri de déchets, de sables et galets de diverses tailles.</p> <p>La dimension de l'installation peut varier d'un simple système de tri (Flux de traitement d'une dizaine de mètres cubes par heure) à un système industriel tel qu'un crible rotatif (un cylindre rotatif permettant la séparation de matériaux de diverses tailles) (Flux de traitement de 200 à 300 mètres cubes par heure).</p>

Coût	CAPEX et OPEX variant beaucoup selon le type d'installation achetée ou louée.
PRÉTRAITEMENT	Broyage/Déchetage/Cisaillage/Concassage
Description	Équipement permettant de réduire la taille des déchets solides. L'équipement utilisé dépend du type de déchets : <ul style="list-style-type: none"> • Broyeur : pour les déchets solides pouvant être cassés • Appareils de déchetage : Carton, polystyrène • Appareils de cisaillage : plastique, papier, carton, bois • Appareils de concassage : bois/bûche, blocaille, plastique, déchets de grande taille
Type de déchets	Déchets solides Déchets minéraux (gravier, galets, blocs)
Situation / potentiel dans le pays	Utilisation de moyens de construction ou de travaux publics faciles à importer ou à mettre en œuvre dans tous les pays.
Intérêt	Permet de réduire la taille des matériaux pour leur traitement (exemple : incinération, Co-incinération etc.).
Critère d'entrée	Dépend du type d'équipement.
Contraintes opérationnelles	Les équipements s'usent très rapidement. Les pièces doivent être remplacées régulièrement.
Impact	L'impact environnemental se limite à l'émission de bruits.
Contraintes juridiques	Limitée.
Efficacité	Très efficace si mise en œuvre de manière appropriée.
Coût	CAPEX : Le prix des équipements peut varier de quelques milliers d'euros à quelques millions selon la capacité et la complexité des équipements utilisés. OPEX : Varie selon les moyens utilisés.
PRÉTRAITEMENT	Séchage des algues
Description	Le séchage d'algues et d'herbes sous-marines polluées avant incinération. Les algues et herbes sous-marines sont empilées (des tas de 2 m x 2 m par exemple), la hauteur ne doit pas excéder les 20 cm.
Type de déchets	Les algues et herbes sous-marines légèrement / moyennement polluées.
Situation / potentiel dans le pays	Le prétraitement peut être réalisé avec peu d'équipement (machines pour les travaux de terrassement).
Intérêt	Permet de réduire d'au moins 50% le poids global des algues et herbes sous-marines (en éliminant l'eau) avant incinération. Ceci réduit les coûts et facilite l'incinération.
Critère d'entrée	Le séchage est utilisé pour des déchets végétaux légèrement/moyennement pollués.
Contraintes opérationnelles	Le processus doit être mené dans des zones non-sensibles. Les sols doivent être protégés pour éviter les infiltrations.
Impact	L'impact environnemental se limite à l'émission d'odeurs (si l'infiltration des sols est contrôlée)
Contraintes juridiques	Limitée
Efficacité	Dans des pays tempérés le séchage peut s'effectuer en 15 jours, cela prendra moins de temps dans des pays plus chauds.
Coût	Limité aux dépenses de location de machines pour les travaux de terrassement, de personnels et du terrain.
PRÉTRAITEMENT	Décantation
Description	Séparation de la phase liquide (hydrocarbure ou eau pollué) d'autres phases (liquide et/ou solide) soit sur le chantier pendant les opérations de nettoyage ou après les opérations dans des installations spécialisées (raffinerie, station de déballastage, etc.).
Type de déchets	Liquide (pouvant contenir des volumes limités de déchets solides ou pâteux)
Situation / potentiel dans le pays	Les équipements nécessaires sont faciles à importer et à utiliser dans le pays (fait appel à des citernes pour la décantation, des lieux de stockage, et des pompes permettant le pompage d'eau et d'hydrocarbures)
Intérêt	Permet de séparer l'hydrocarbure d'un mélange hydrocarbure/eau (peut également permettre la récupération de sédiments en fonction de l'équipement). Durant les opérations de nettoyage, il peut être admis que l'eau séparée soit déchargée dans


	l'environnement réduisant ainsi le besoin de capacités de stockage (sur les chantiers et sur les navires de lutte contre les déversements d'hydrocarbures en mer).
Critère d'entrée	Tous les hydrocarbures, l'eau et les mélanges de particules solides peuvent être décantés jusqu'à un certain degré. L'hydrocarbure et l'eau ne peuvent être récupérés directement de l'hydrocarbure émulsifié. Le passage d'émulsion est nécessaire avant la décantation.
Contraintes opérationnelles	Fait appel à du personnel, à des sites et capacités de stockage adéquats pour la récupération d'hydrocarbures, d'eau et de solides (et/ ou possibilité de décharge des eaux récupérées dans l'environnement).
Impact	→ Première décantation sur chantier pendant les opérations de nettoyage : la décantation a un impact limité. Le rejet des eaux récupérées dans l'environnement est souvent toléré durant les opérations de nettoyage. → Durant le traitement dans des installations spécialisées (lorsque la phase d'urgence des opérations de nettoyage est complétée) : Minimal si l'équipement est adéquat, s'il est correctement utilisé et s'il n'y a pas de fuite d'hydrocarbures.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations qui s'appliquent à la décharge d'eau dans l'environnement. La hausse de la limite de la concentration en hydrocarbures dans l'eau à rejeter peut être tolérée durant la phase d'opération de nettoyage.
Efficacité	Le débit maximum dépend des pompes et des équipements de décantation utilisés. → Première décantation sur le chantier durant les opérations de nettoyage : le temps de décantation dépend de l'eau polluée récupérée (habituellement une heure est suffisante). Des pompes de 10 à 50 m ³ / h de débit sont généralement utilisées. → Durant le traitement des déchets dans des installations spécialisées : Le débit de traitement peut varier de quelques mètres cubes à quelques dizaines par heure.
Coût	CAPEX, coût de mobilisation : <ul style="list-style-type: none"> • Première décantation sur le chantier durant les opérations de nettoyage : coût de location ou d'achat des stockages (10 m³ ou plus) et des pompes (débit 10 à 50 m³/ h) • Aucun, si l'installation existe. OPEX : Varie selon le type d'installation ; les coûts sont toutefois limités (autour de 50 euros/m ³ de déchet décantés).
PRÉTRAITEMENT	Centrifugation
Description	Séparation des phases hydrocarbure – eau – sédiment en utilisant les équipements spécialisés pour la centrifugation.
Type de déchets	Liquide (contenant une faible fraction de sédiments, la limite varie selon l'équipement). De simples centrifugations peuvent être utilisées pour récupérer l'hydrocarbure de sables fortement pollués.
Situation / potentiel dans le pays	Les équipements nécessaires sont faciles à importer et à utiliser dans tous les pays
Intérêt	Permet la séparation d'hydrocarbures, d'eau et de sédiments. L'hydrocarbure récupéré peut être réutilisé.
Critère d'entrée	Exemples de critères d'entrée pour les équipements de centrifugation : <ul style="list-style-type: none"> • Boues polluées pouvant être pompées par des pompes volumétriques standards • Teneur en matière sèche solide : maximum 15 % • Taille des particules : inférieure à 5 mm (plastique, sable, cailloux, bois, rouille et autre matériaux) • Teneur en hydrocarbures : 0 - 100 % • Teneur en eau : 0 - 100 % Note : Certains équipements permettent la centrifugation de sables fortement pollués par les hydrocarbures.
Contraintes opérationnelles	Fait appel à du personnel, à un site (surface de 200 m ² minimum), et des apports : <ul style="list-style-type: none"> • d'énergie électrique, • de poudre polymère (floculant) pour faciliter la récupération des sédiments fins (10 à 12 kg par tonne de solide sec), • des produits chimiques pour le passage d'émulsion, • de l'eau pour fluidifier les boues épaisses de teneur en eau basse, avant leur centrifugation.
Impact	Minimal si l'équipement est adéquat, s'il est correctement utilisé et s'il n'y a pas de fuite d'hydrocarbures.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations concernant le transport, la manutention et le stockage d'hydrocarbures.

Efficacité	<p>Débit maximum typique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 750 kg de solides secs par heure • 12 m³/h maximum : par expérience, 40 à 60 mètres cubes de boue peuvent être traitées par jour (journée de 8 heures). <p>Qualité des hydrocarbures récupérés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contient entre 5 et 10% de sédiments de fond. Selon le type de boue et de machine. <p>Qualité de rejet d'eau de la centrifugeuse :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contient entre 2 et 10% d'hydrocarbures et entre 0,1 et 3% de particules en suspension. Selon le type de boue et de machine. • L'eau peut être retraitée par décantation laminaire pour atteindre une teneur en hydrocarbures inférieure à 0,1% et une teneur en particules en suspension inférieure à 0,1%. <p>Qualité du sédiment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contient entre 5 et 10% de lixiviats et entre 30 et 45% de DS. • Dépend du type de boue, de la centrifugeuse et d'additifs (floculant).
Coût	<p>CAPEX, ci-dessous un exemple de coût d'assemblage d'une centrifugeuse ayant l'efficacité ci-dessus mentionnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transport transméditerranéen d'équipement (2 x conteneurs ouverts : un conteneur de 1 x 20 pied et un autre de 1 x 40 pieds) : approx. 10 000 euros • Installation et lancement : approx. 25 000 euros <p>OPEX : Traitement de 1 mètre cube de boue (en utilisant une décanteuse pour centrifugeuse et une décanteuse laminaire pour l'eau, et en incluant l'ajout de floculant de produit de cassage d'émulsion) : approx. 60 euros/ m³ de boue traitée.</p>
PRÉTRAITEMENT	Cassage d'émulsion
Description	<p>Ce procédé consiste à casser l'émulsion d'eau-hydrocarbure en formant une phase d'eau et une phase d'hydrocarbure. Ce procédé se réalise sur chantier ou dans des installations spécialisées. Les émulsions d'eau-hydrocarbure sont très visqueuses et peuvent contenir de 50% à 80% d'eau.</p> <p>→ Les émulsions instables peuvent être cassées par simple décantation ou par traitement thermique suivi d'une décantation. Le mélange eau/hydrocarbure doit être préférablement chauffé par circulation à travers d'un système d'échange de chaleur externe.</p> <p>→ Les émulsions stables peuvent être cassées en utilisant des agents désémulsifiants à utiliser le plus tôt possible. La dose recommandée peut varier selon le type d'hydrocarbures et l'âge de l'émulsion, il est habituellement très bas (entre 250 et 5 000 ppm). Le procédé dure aux moins 10 à 20 minutes.</p>
Type de déchets	Hydrocarbure émulsifié
Situation / potentiel dans le pays	<p>Des équipements de chauffage peuvent facilement être mis en service.</p> <p>Les agents désémulsifiants peuvent facilement être importés et utilisés dans tous les pays.</p>
Intérêt	Toute réduction de teneur en eau dans l'émulsion conduira au traitement de moins d'eau. L'eau et l'hydrocarbure peuvent alors être récupérés séparément en utilisant la décantation ou la centrifugation.
Critère d'entrée	Tous les hydrocarbures émulsifiés
Contraintes opérationnelles	<p>→ Chauffer. La température limite d'un point de vue sécurité correspond au point d'inflammation de l'hydrocarbure, moins 8°C. Généralement, le chauffage se fait entre 60 et 66°C avec un maximum de 80°C pour maintenir les conditions de sécurité.</p> <p>→ Utilisation d'agents désémulsifiants. Il n'y a pas de produit universel. Une sélection et un test de produits sont nécessaires.</p>
Impact	<p>Minimal si l'équipement est adéquat, s'il est correctement utilisé et s'il n'y a pas de fuite d'hydrocarbures.</p> <p>→ Des traces d'agent désémulsifiants peuvent persister dans l'eau après séparation. Une attention particulière doit être portée sur ce point avant le rejet de l'eau.</p> <p>→ L'eau peut être rejetée dans l'environnement, suite au cassage de l'émulsion sur site. Le rejet de résidus d'hydrocarbures présents dans la phase aqueuse, dans un environnement déjà fortement pollué par un déversement d'hydrocarbures, n'accroît pas le dommage environnemental.</p> <p>Si le cassage de l'émulsion est mené après les opérations de nettoyage, l'eau récupérée doit être traitée en utilisant des séparateurs pour réduire davantage la teneur en hydrocarbures.</p>
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations concernant le transport, la manutention et le stockage des hydrocarbures et de la décharge d'eau dans l'environnement.
Efficacité	Généralement, après la séparation en deux phases, l'eau contient moins de 1 000 ppm d'hydrocarbures.

Coût	CAPEX : dépend du type d'installation utilisée. Le CAPEX est généralement limité, (coût des agents désémulsifiants). OPEX : également limité puisque les installations sont simples et peu de personnel est nécessaire (moins de 50 euros / m ³).
PRÉTRAITEMENT	Essorage des absorbants
Description	L'essorage des absorbants permet de récupérer l'hydrocarbure qu'ils contiennent avant leur traitement (ex : incinération).
Type de déchets	Absorbants contenant des hydrocarbures (cette technique peut également être utilisée pour des déchets solides fortement contaminés)
Situation / potentiel dans le pays	Facile à mettre en œuvre dans le pays.
Intérêt	Permet de récupérer la plus grande partie des hydrocarbures contenus dans les absorbants avant d'autres traitements.
Critère d'entrée	Tout type d'absorbant
Contraintes opérationnelles	Principalement liées à la manutention de déchets d'hydrocarbures. Pas d'autres exigences techniques nécessaires
Impact	Minimal si l'hydrocarbure et les absorbants sont récupérés et gérés correctement.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations concernant le transport, la manutention et le stockage des hydrocarbures.
Efficacité	Limité, seulement pour récupérer les hydrocarbures en vrac recouvrant des déchets ou des absorbants.
Coût	Limité, il est principalement fonction du coût du personnel, les moyens nécessaires étant limités.
TRAITEMENT NATUREL	Atténuation naturelle surveillée
Description	Comprend une série de processus physiques et biologiques, qui avec l'intervention de l'homme, permettent de réduire la concentration, la toxicité ou la mobilité des polluants. L'atténuation naturelle peut être destructive ou non destructive. <ul style="list-style-type: none"> • Les processus destructifs incluent la biodégradation, la photo-oxydation et l'hydrolyse. La biodégradation ou la biorestauration sont de loin les mécanismes destructeurs les plus répandus. • L'atténuation par des mécanismes non destructifs inclut la sorption, la dispersion, la dilution (le mécanisme non destructif le plus important) et la volatilisation.
Type de déchets	Pollution résiduelle (terre et eaux souterraines sur site)
Situation / potentiel dans le pays	Ne fait appel à aucun équipement (mis à part les moyens de contrôle).
Intérêt	Aucun investissement (mis à part les moyens de contrôle).
Critère d'entrée	Technique controversée d'un point de vue public et environnemental. Ne peut être considérée que pour des pollutions résiduelles et biodégradables (ou pour des pollutions pouvant être atténuées par un mécanisme non-destructif).
Contraintes opérationnelles	Un suivi à long terme est nécessaire pour démontrer que les concentrations de contaminants continuent de diminuer à un taux suffisant pour s'assurer qu'ils ne deviennent pas une menace pour la santé ou qu'ils aillent à l'encontre de critères réglementaires.
Impact	L'atténuation naturelle n'est pas appropriée lorsqu'un risque imminent existe.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations relatives aux pollutions des sols et des eaux souterraines.
Efficacité	Doit être validée par un programme de suivi. La recherche se poursuit dans ce domaine.
Coût	Les coûts sont liés au programme de suivi (expertise, échantillonnages et analyses).
TRAITEMENT MÉCANIQUE	Lavage des sédiments et de la terre polluée (aussi connu comme extraction chimique si des solvants sont utilisés)
Description	De l'eau est utilisée pour le lavage des sols afin d'éliminer la pollution des sols. Le processus consiste à dissoudre ou suspendre des polluants dans la solution de lavage (à l'aide d'eau chaude, 30 à 50 ° C et le cas échéant de solvant ou dispersant). Cette technique est souvent

	utilisée en complément d'autres techniques de séparation physique (voir la décantation, la centrifugation, etc.)
Type de déchets	Sols et sédiments contaminés.
Situation / potentiel dans le pays	Les équipements nécessaires peuvent exister dans le secteur des travaux publics et des mines. Des installations mobiles peuvent également être importées.
Intérêt	Le lavage des sols commence par la séparation des sols en fonction de la taille des particules. La plupart des polluants organiques et inorganiques ont tendance à se lier et à absorber l'argile, la boue et les particules organiques du sol. Ces sédiments fins sont séparés du reste de la terre en les lavant avec de l'eau et éventuellement des solvants. Le lavage ne traite pas la pollution, mais elle contribue à séparer des sédiments grossiers, des polluants liés aux sédiments plus fins et à les concentrer dans un petit volume d'eau qui est, par la suite, plus facile à traiter et à éliminer.
Critère d'entrée	Les polluants (adsorbés sur les sédiments fins) doivent pouvoir se diluer dans le solvant. Le lavage des sols est une technique de concentration des contaminants à travers la séparation. Il ne détruit pas et n'immobilise pas les contaminants. Par conséquent, les sols contaminés concentrés et / ou les effluents générés doivent être éliminés avec précaution.
Contraintes opérationnelles	La portion « propre » de la terre séparée doit être analysée pour évaluer sa contamination résiduelle avant d'être éliminée comme du matériel propre. Les sables et graviers sont relativement faciles à laver. Toutefois, les boues et l'argile qui retiennent, par adsorption, quelques quantités d'hydrocarbures nécessiteront un traitement supplémentaire (Source : Bocard). L'eau de lavage nécessite un traitement avant d'être rejetée, car elle contient généralement de plus petites particules ou des particules organiques.
Impact	Limité si l'eau de lavage est gérée de manière adéquate et si les matériaux traités sont analysés avant d'autres traitements ou avant d'être éliminés.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation qui s'applique aux sols pollués et à la gestion des eaux polluées par les hydrocarbures.
Efficacité	Dépend de l'installation. Les installations peuvent traiter entre quelques dizaines de tonnes de déchets par jour jusqu'à quelques centaines de tonnes.
Coût	OPEX : Approximativement 150 Euros / m ³ (Source : KOLLER)
TRAITEMENT MÉCANIQUE	Lavage des macro-déchets fortement pollués
Description	Lavage de déchets pollués par les hydrocarbures avant leur stockage ou élimination ultime en utilisant diverses techniques : → Le lavage à jet d'eau froide ("Flushing") est une technique simple, moyennement efficace, pour laver de grandes quantités de débris pollués. Elle consiste à appliquer un jet d'eau à haute pression afin de libérer l'hydrocarbure qui flotte ensuite en surface. Le mélange hydrocarbure/eau résultant peut alors être traité par séparation. → Le lavage à jet d'eau tiède/chaude est utilisé pour nettoyer les graviers, cailloux et sables pollués par des hydrocarbures ou par des émulsions. Il consiste à utiliser des équipements standards de procédés de nettoyage de minéraux couplés à un séparateur conventionnel d'hydrocarbures et eau. → Jets de vapeur à haute pression dirigés sur un plateau perforé incliné vibrant, placé au dessus d'un collecteur qui récupère l'hydrocarbure et le condensat. Ce système peut être utilisé pour nettoyer des sables pollués. Des désémulsifiants peuvent également être utilisés. → L'extraction par solvant peut être considérée comme un moyen permettant d'éliminer l'hydrocarbure contenu dans du sable pollué, des cailloux et des débris. Des recherches limitées ont été menées pour l'utilisation de cette technique.
Type de déchets	Déchets solides et sédiments pollués
Situation / potentiel dans le pays	Les petites installations sont faciles à assembler et à utiliser, cela peut toutefois varier selon la taille des équipements.
Intérêt	Récupération des matières recyclables (i.e le plastique et d'autres types de déchets). Possibilité d'incinérer les déchets nettoyés ou de les stocker dans des décharges. Récupération éventuelle de l'hydrocarbure (si la décantation / la centrifugation est utilisée après le lavage).
Critère d'entrée	Tous types de déchets solides fortement contaminés ou sédiments
Contraintes	Fait appel à du personnel, des sites spécifiques, des équipements de lavage, énergie, installation

opérationnelles	de gestion d'effluents, de produits de nettoyage et de larges quantités d'eau.
Impact	Minimal si les effluents de lavage sont gérés correctement. Toutefois, une quantité importante d'eau est nécessaire.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation relative à la gestion des eaux polluées par les hydrocarbures.
Efficacité	Dépend des équipements utilisés
Coût	OPEX : approximativement 150 Euros/m ³ (Source : KOLLER) CAPEX and OPEX varient selon la taille et le débit de l'installation.
TRAITEMENT MÉCANIQUE	Flottation (à l'eau chaude)
Description	Cette technique consiste à faire flotter l'hydrocarbure provenant de sables souillés dans un réservoir rempli d'eau chauffée (pour fluidifier l'hydrocarbure). Des bulles d'air introduites par le fond de la cuve mobilisent l'hydrocarbure contenu dans les sédiments et le font re-flotter à la surface de l'eau.
Type de déchets	Sables pollués
Situation / potentiel dans le pays	Des installations mobiles peuvent facilement être installées dans le pays.
Intérêt	Permet de nettoyer le sable, qui peut retourner à la plage (avec un possible nettoyage final par surfwashing).
Critère d'entrée	Sables légèrement ou moyennement pollués. Les sables fortement pollués doivent être traités pour réduire la quantité d'hydrocarbures contenus dans le sable (centrifugation) avant la flottation.
Contraintes opérationnelles	Fait appel à la mise en place d'une installation complète (apport en puissance et en eau). Nécessite une gestion des effluents (pour la récupération de l'hydrocarbure et l'utilisation de l'eau).
Impact	Minimal si le nettoyage des effluents est géré correctement.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation concernant la gestion des eaux polluées par les hydrocarbures
Efficacité	Le processus de flottation peut traiter approximativement 1 tonne de sables pollués par heure : lorsque le sable pollué (2 % d'hydrocarbures) est traité, 95% de l'hydrocarbure peut être récupéré.
Coût	Varie selon la taille et la capacité de l'installation.
TRAITEMENT MÉCANIQUE	Filtration
Description	La filtration est le processus physique par lequel les particules en suspension dans l'eau sont séparées en forçant le liquide à travers un milieu poreux (c'est à dire un filtre). Les particules en suspension sont piégées dans le filtre. La taille des pores de la membrane peut varier pour éliminer différentes particules et molécules. Le processus de microfiltration fonctionne généralement mieux pour séparer des particules très fines (0,1 à 0,001 microns) du liquide.
Type de déchets	Liquide (Hydrocarbure, eau polluée par les hydrocarbures, eau) contenant des sédiments (généralement des sédiments fins)
Situation / potentiel dans le pays	Facile à importer et à mettre en service dans le pays
Intérêt	Permet de retirer les sédiments (fins) d'un déchet liquide avant son traitement.
Critère d'entrée	La phase liquide ne doit pas être trop visqueuse pour pouvoir passer à travers le filtre.
Contraintes opérationnelles	Limitées. Le filtre doit être nettoyé et remplacé régulièrement.
Impact	Minimal si l'équipement est adéquat et correctement utilisé et s'il n'y a pas de fuite d'hydrocarbures.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation qui s'applique aux transports, à la manutention et au stockage des hydrocarbures.
Efficacité	Dépend du type d'installation, de quelques mètres cubes à quelques centaines de mètres cubes par jour. L'efficacité de ce processus est mesurée par l'analyse et le suivi des échantillons d'eaux filtrées.
Coût	CAPEX dépend du type d'installation utilisé (et sa capacité). OPEX se limite aux coûts de personnel, d'apport en puissance et de la maintenance des filtres.

TRAITEMENT MÉCANIQUE	Lavage des galets (en bétonnière ou à l'eau chaude/haute pression)
Description	Nettoyage de galets et de cailloux en utilisant un système à haute pression et en utilisant des nettoyeurs à l'eau chaude.
Type de déchets	Galets et cailloux pollués
Situation / potentiel dans le pays	Les équipements sont disponibles dans tous les pays.
Intérêt	Permet le retour de galets nettoyés à la plage
Critère d'entrée	Tous types de galets et cailloux
Contraintes opérationnelles	Fait appel à du personnel, des sites spécialisés, des nettoyeurs à haute pression/à vapeur, de l'énergie et une installation de gestion des effluents de lavage. Pour limiter l'utilisation d'eau douce, il est préférable d'utiliser des nettoyeurs à vapeur fonctionnant à l'eau de mer.
Impact	Minimal si les effluents sont gérés correctement et si l'eau de mer est utilisée.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation relative à la gestion des eaux polluées par les hydrocarbures.
Efficacité	Dépend du nombre de nettoyeurs utilisés
Coût	CAPEX : Un nettoyeur à haute pression à eau chaude fonctionnant à l'eau de mer : 7 000 euros. Une bétonnière portable (moteur benzène): 1 000 euros. OPEX : principalement lié au coût de la main d'œuvre (3 à 4 travailleurs par nettoyeur à haute pression et par bétonnière).
	 <p>Lavage de galets sur site (Source : Le Floch Depollution)</p>
TRAITEMENT MÉCANIQUE	Surfwashing
Description	Consiste à descendre des sédiments vers le bas de plage afin de les soumettre à l'action nettoyante naturelle de la mer. Cette technique permet la remobilisation et la récupération d'hydrocarbures.
Type de déchets	Sables légèrement et moyennement pollués Galets et cailloux légèrement et moyennement pollués
Situation / potentiel dans le pays	Peut être testé dans tous les pays. Cette technique nécessite des experts en géologie marine et des tests sur site.
Intérêt	L'utilisation de l'énergie naturelle des vagues et le retour des sédiments sur la plage. Bas coût et pas d'équipement spécifique et coûteux nécessaire.
Critère d'entrée	Cette technique s'applique uniquement aux sédiments légèrement ou moyennement pollués destinés à un retour sur la plage.
Contraintes opérationnelles	Fait appel à du personnel et à du matériel de terrassement (pour pousser les sédiments pollués dans la zone de déferlement où sont placés des matériaux absorbants pour récupérer l'hydrocarbure).
Impact	Minimal si les hydrocarbures sont correctement récupérés avec les matériaux absorbants.

Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation qui s'applique à la gestion des eaux polluées et à la gestion de la qualité du littoral (une autorisation spéciale doit être obtenue pour une telle procédure).
Efficacité	Dépend de la viscosité et du vieillissement de l'hydrocarbure, de la température et de l'exposition aux vagues.
Coût	CAPEX : aucun (si les équipements locaux sont loués) OPEX pour un chantier et une équipe : Coût journalier d'un ou deux opérateurs de pelle mécanique, une équipe constituée d'un superviseur et de 10 personnes, EPI et absorbants.
TRAITEMENT PAR STABILISATION	Stabilisation avec utilisation d'agents liants (par exemple chaux vive) (pâteux, solides et sables pollués)
Description	Ce processus comprend deux étapes : <ul style="list-style-type: none"> • Solidification : transforme les déchets en granulés de porosité limitée et de caractéristiques mécaniques intéressantes, • Stabilisation : transforme les composés solubles en des composés stables moins solubles. La réaction d'oxydoréduction de la chaux vive avec l'hydrocarbure (sur les sédiments) stabilise les composés d'hydrocarbure et dégrade (partiellement) les composés les plus légers. La stabilisation peut être effectuée sur le chantier ou dans des unités spécialisées.
Type de déchets	Pâteux et solide Sables pollués Note : Cette technique n'est pas appropriée pour les déchets liquides si la teneur en hydrocarbures est trop élevée.
Situation / potentiel dans le pays	La chaux vive est bon marché et facile à obtenir. D'autres matériaux traités aux liants hydrauliques sont également disponibles.
Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> • Stabiliser le lixiviat d'hydrocarbures et les composés toxiques. • Produit un matériau hydrophobe granulaire, physiquement et chimiquement adapté à être utilisé comme matériau de remplissage, comme matière première secondaire dans les travaux publics (la qualité du matériau doit être testée avant toute utilisation), ou d'être laissé sur place dans un état stabilisé.
Critère d'entrée	Éviter les déchets pollués, les absorbants et les cailloux pollués.
Contraintes opérationnelles	Nécessite un équipement facilement disponible (par des engins de terrassement pour mélanger la chaux vive avec le matériel pollué), peu de personnel, et des agents liants (par exemple la chaux vive). En cas de teneur en hydrocarbures élevée ou à haute température, il ya un risque d'incendie. La taille des grains de la chaux vive en vrac doit être adaptée à la taille des grains des sédiments pollués à traiter (plus le sédiment est petit, plus la chaux vive est grossière, par exemple des grains de chaux vive de 20 à 40 mm sont utilisés pour traiter de la boue et des mélanges de sable).
Impact	La réaction d'oxydoréduction engendre des rejets atmosphériques de poussières, de gaz et de fumées. Le lixiviat du matériau stabilisé a moins de 1% d'hydrocarbures (dans le pire des cas). Les effets de la stabilisation du matériau étant limités dans le temps, la dégradation progressive du processus de stabilisation et la libération dans l'environnement des contaminants restant doivent être anticipées, lors de la considération du lieu d'élimination ultime.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation concernant les rejets atmosphériques (toutefois, ces opérations devraient recevoir des autorisations spéciales). Des analyses de la teneur totale en hydrocarbures, du lixiviat ainsi qu'une évaluation de l'impact environnemental ou une autorisation légale peuvent être requises.
Efficacité	80 m ³ / jour de déchets traités avec une pelle mécanique et un opérateur expérimenté.
Coût	CAPEX/OPEX : le coût de la stabilisation de 1 m ³ de déchets est compris approximativement entre 150 et 200 euros par m ³ de déchets traités (selon la disponibilité locale de liants).

TRAITEMENT PAR STABILISATION	Stabilisation - Vitrification
Description	La vitrification utilise la chaleur pour faire fondre (à très haute température, au dessus du point de fusion, de 1500 à 2300 °C) les déchets, suivi d'une diminution brutale de la température pour solidifier les produits chimiques nocifs dans une masse solide similaire au verre. Cette méthode peut être appliquée au sol sur site (Vitrification In-Situ VIS) ou dans une unité de traitement (ex-situ).
Type de déchets	Déchets ultimes d'une pollution (par exemple le sol pollué, les déchets solides)
Situation / potentiel dans le pays	Les équipements peuvent être importés et installés. Des systèmes de vitrification transportables existent.
Intérêt	Le contaminant est stabilisé et solidifié dans un matériau de type verre, avec une meilleure performance à long terme que tout autre moyen de solidification (agent liant hydraulique).
Critère d'entrée	La caractérisation complète du déchet est essentielle avant d'initier la vitrification in-situ ou ex situ. En effet, il est important de déterminer les formes de verre déjà présentes dans le déchet et d'identifier les stabilisateurs de verre et les flux devant être ajoutés. Les débris de plus de 60 mm de diamètre doivent généralement être enlevés avant le traitement.
Contraintes opérationnelles	Utilisation, stockage ou élimination du vitrifiat est nécessaire Chaleur / énergie importante nécessaire.
Impact	Les impacts possibles incluent la durabilité des déchets vitrifiés. Néanmoins, les déchets vitrifiés sont censés être plus stables à long terme que les déchets empierrés ou cimentés, en raison de la résistance à la corrosion du verre. La chaleur utilisée pour faire fondre le sol peut également détruire certains des produits chimiques nocifs et causer l'évaporation d'autres. Les produits chimiques évaporés doivent être captés et traités.
Contraintes juridiques	Se référer aux réglementations concernant la gestion et l'élimination de déchets (de matériaux comme le verre), l'émission de gaz et le traitement durant la vitrification.
Efficacité	La vitrification est une technologie qui a fait ses preuves lors de plusieurs déversements d'hydrocarbures. Toutefois, cette technique fait appel à une grande consommation d'énergie qui engendre des coûts élevés.
Coût	OPEX : de 150 à 230 Euros/tonne (Source : KOLLER), selon la taille et la capacité de l'installation, jusqu'à plus de 300 Euros/ tonne pour des déchets spécifiques.
BIORÉMÉDIATION	Bioremédiation : biorestauration <u>sur site</u>
Description	Stimuler la bioremédiation en ajoutant des micro-organismes (par exemple, les champignons, les bactéries et autres microbes) et / ou des nutriments (oxygène, nitrates) dans l'environnement souterrain afin d'accélérer le processus de biodégradation naturelle par les micro-organismes naturellement présents dans le sol. La biorestauration peut avoir lieu dans des conditions aérobies ou anaérobies. Les quatre processus principaux sont brièvement décrits ci-dessous. Bio-stimulation : <ul style="list-style-type: none"> • Injection gazeuse d'éléments nutritifs : dans ce cas, les nutriments sont acheminés vers les eaux souterraines et les sols contaminés à travers des puits afin d'encourager et d'alimenter naturellement les microorganismes. • Augmentation du taux d'oxygène avec du peroxyde d'hydrogène comme alternative au pompage d'oxygène dans les eaux souterraines. • Augmentation du taux de nitrate : une solution de nitrate est parfois ajoutée à l'eau souterraine pour améliorer la biodégradation anaérobie. Bio-augmentation : des micro-organismes acclimatés peuvent être ajoutés au sol pour augmenter l'activité biologique. Cependant, l'efficacité de cette technique n'est pas aussi établie que la bio-stimulation. Les trois premières méthodes sont préférables parce qu'elles stimulent naturellement les micro-organismes indigènes, déjà adaptés à l'environnement.
Type de déchets	Sédiments légèrement pollués (sable, gravier, terre et boue). Algues et végétations polluées (de même que la faune) peuvent être traitées.
Situation / potentiel dans le pays	Cette technique peut facilement être mise en service sur tous les chantiers (habituellement considérée pour des sites côtiers abrités permettant le nettoyage naturel par les vagues ou des sites intérieurs).

Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> • C'est un procédé relativement économique, qui requiert peu d'énergie • Il peut être mis en œuvre sans équipements spécialisés
Critère d'entrée	<p>Les hydrocarbures à forte teneur en asphaltènes et en résines se dégradent lentement en raison de la réticence moléculaire des hydrocarbures, tandis que la dégradation des hydrocarbures à forte teneur en aliphatiques et en composés aromatiques est plus rapide dans l'environnement adéquat et dépend beaucoup plus des fertilisants.</p> <p>Il est recommandé d'effectuer une analyse par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution et une spectroscopie de masse pour définir la composition de l'hydrocarbure et évaluer sa biodégradabilité.</p> <p>Pour atteindre une biodégradation maximale, l'eau interstitielle des sédiments devrait présenter des concentrations de 1,5 mg de nitrates/ litre, les concentrations de phosphore doivent atteindre environ un dixième de la teneur en nitrates, avec des niveaux d'oxygène supérieurs à 2 mg / litre (Source : AMSA).</p> <p>Une haute perméabilité des sols est nécessaire pour permettre aux nutriments d'atteindre les micro-organismes indigènes (éviter les sols en argiles fins).</p>
Contraintes opérationnelles	<p>Accès facile aux sites de traitements.</p> <p>La biodégradation est moins efficace à basse température.</p> <p>Le sol doit être humide.</p> <p>Les polluants ne doivent pas être adsorbés par l'argile et/ou par la boue, sans quoi, ils ne seront pas disponibles pour les micro-organismes.</p>
Impact	<p>Dans des conditions anaérobies, les contaminants peuvent être dégradés en un produit qui est plus dangereux que le contaminant d'origine.</p> <p>L'injection de nitrates vers les eaux souterraines est préoccupante, car il s'agit d'un composé classé. La bio-augmentation en utilisant des micro-organismes non indigènes est également controversée.</p> <p>La circulation de solutions à base d'eau à travers le sol peut accroître la mobilité des contaminants et faire appel à un traitement d'eaux souterraines sous-jacent.</p>
Contraintes juridiques	<p>Se référer à la réglementation concernant la gestion de sols pollués sur site. Une autorisation spéciale doit être donnée pour ce type de traitement.</p>
Efficacité	<p>La bioremédiation est un procédé à long terme (de plusieurs mois voire années)</p> <p>La bioremédiation dégrade les composés aromatiques, les N-alcanes et les iso-alcanes. Les résines et asphaltènes sont habituellement résistants à la bioremédiation. Les hydrocarbures cycliques (saturés et aromatiques) sont partiellement biodégradables.</p> <p>L'efficacité de la biodégradation peut atteindre des niveaux satisfaisants lorsqu'elle est menée correctement sur des matériaux biodégradables.</p>
Coût	<p>Limité, moins de 30 euros / m³ (Source : KOLLER), 15 à 75 euros/ tonne (Source : Bocard)</p> <p>Le coût est lié à la main d'œuvre, aux équipements utilisés pour étendre les matériaux et l'achat d'agent stimulants.</p>

BIORÉMÉDIATION	Bioremédiation: épandage contrôlé ou <i>landfarming</i>
Description	Les sols contaminés sont mélangés avec des amendements du sol, tels que des agents gonflants et des nutriments pour sol, puis enfouis dans la terre. Les débris d'hydrocarbures sont répartis uniformément sur la surface d'épandage scarifiée dans une couche de 2 à 10 cm d'épaisseur. Les contaminants sont dégradés, transformés, et immobilisés par des procédés microbiologiques et par l'oxydation.
Type de déchets	Pâteux et solides légèrement pollués.
Situation / potentiel dans le pays	Cette technique peut très facilement être mise en œuvre.
Intérêt	Permet la biodégradation de déchets pollués par les hydrocarbures avec peu d'équipements (nécessite de grands espaces éloignés d'eaux souterraines et des habitats).
Critère d'entrée	<p>Les hydrocarbures à forte teneur en asphaltènes et en résines se dégradent lentement en raison de leur réticence moléculaire tandis que la dégradation des hydrocarbures à forte teneur en aliphatiques et en composés aromatiques est plus rapide dans l'environnement adéquat et dépend beaucoup plus des fertilisants.</p> <p>Il est recommandé d'effectuer une analyse par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution et une spectroscopie de masse pour définir la composition de l'hydrocarbure et évaluer sa biodégradabilité.</p> <p>Sédiments légèrement pollués (sable, gravier, sol, boue), contenant moins de 1 à 2% d'hydrocarbures.</p> <p>L'épandage contrôlé est le mieux adapté pour les débris constitués de petites particules telles que les sols pollués, et ne doit pas être utilisé pour des déchets constitués de particules plus grandes que 15 cm, pour éviter des difficultés de manipulation et des problèmes de mélange des déchets.</p>
Contraintes opérationnelles	<p>Nécessite de grands espaces de terrain dans un environnement adéquat : l'épandage contrôlé est propice au climat chaud avec une précipitation et une évaporation modérées.</p> <p>Le processus de dégradation peut s'arrêter lorsque les températures tombent en dessous de zéro.</p> <p>Le labourage régulier est nécessaire pour l'aération.</p> <p>Un niveau d'humidité suffisant est nécessaire dans le mélange d'hydrocarbures / sol pour soutenir l'activité microbienne, qui est généralement naturellement disponible, sauf dans les zones très sèches.</p> <p>Les zones doivent être situées là où les masses d'eau et d'autres apports en eau potable ne sont pas à risque face à la possible libération de contaminants.</p> <p>Le dénivelé de la zone devrait être inférieur à 4% (à défaut, prévoir la gestion des eaux de ruissellement).</p> <p>La perméabilité du sol doit être faible pour éviter la percolation des eaux de lixiviation dans les eaux souterraines. Le dénivelé doit aussi être faible pour éviter les écoulements.</p> <p>Des ajouts de composés azotés (comme le nitrate d'ammonium) et de phosphores solubles (ex : superphosphate) sont nécessaires à la dégradation des déchets à un taux optimal.</p> <p>La surveillance environnementale est nécessaire (analyse du sol et des eaux souterraines).</p>
Impact	Le risque majeur est la contamination des eaux souterraines par percolation du contaminant et les ruissellements en surface déplaçant le contaminant loin de la zone d'épandage.
Contraintes juridiques	<p>Se référer aux limites de contaminants pouvant être épandus (ex : Les réglementations relatives à l'épandage de boues provenant de stations d'épuration d'eaux usées).</p> <p>Ce procédé peut faire appel à une évaluation de l'effet sur environnement ou nécessiter une autorisation légale.</p>
Efficacité	L'épandage dégrade l'hydrocarbure en dioxyde de carbone et en eau en 2 ans ou moins. La biorestoration est un processus à long terme (qui se compte en mois ou en année(s)). La biorestoration dégrade les composés aromatiques, N-alcanes et iso-alcanes. Les résines et les asphaltènes sont généralement résistants à la bioremédiation. Les hydrocarbures cycliques (saturés et aromatiques) sont partiellement biodégradés.

Coût	<p>Le coût des équipements est limité (équipements de terrassement). Toutefois, l'épandage requiert de grands espaces de terrain (à louer ou à acheter pour des années). OPEX :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entre 5 et 50 Euros / m³ pour le traitement "naturel" (sans nutriments et/ou enzymes) et sans traitement de lixiviat. • Entre 20 et 150 Euros / m³ pour le traitement avec nutriments ou enzymes et sans traitement de lixiviat (Source : PNUD).
BIORÉMÉDIATION	Biotraitement : compostage
Description	<p>Le compostage est la transformation biologique des déchets solides organiques en une matière humique stable (qui contribue à la structure du sol ainsi qu'à son état nutritionnel).</p> <p>Le compostage est réalisé par la mise en andains, à l'air libre ou sous hangar, avec retournement mécanique, aération forcée et ajout d'agents de lest, d'amendements organiques et de nutriments.</p> <p>Trois principales techniques sont utilisées pour le compostage :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des tas de compost en état d'aérobic statique sont formés et aérés avec des ventilateurs ou des pompes à vide, • Utilisation d'un système similaire à un bioréacteur, où le compost est mécaniquement agité et aéré, • Le compostage en andains est généralement considéré comme la méthode de compostage la plus rentable.
Type de déchets	Algues légèrement polluées et végétation (matières biodégradables) avec possible présence de sable.
Situation / potentiel dans le pays	Peut très facilement être mise en place.
Intérêt	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération de ressources naturelles (sable) • Bas coût • La rentabilité du processus s'accroît avec la quantité traitée
Critère d'entrée	<p>Les hydrocarbures à forte teneur en asphaltènes et en résines se dégradent lentement en raison de leur réticence moléculaire tandis que la dégradation des hydrocarbures à forte teneur en aliphatiques et en aromatiques est plus rapide dans l'environnement adéquat et dépend beaucoup plus des fertilisants.</p> <p>Il est recommandé d'effectuer une analyse par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution et une spectroscopie de masse pour définir la composition de l'hydrocarbure et évaluer sa biodégradabilité.</p> <p>Cette technique s'utilise uniquement pour les végétaux légèrement ou moyennement pollués ne contenant pas de cailloux ni de blocs.</p>
Contraintes opérationnelles	<p>Fait appel à du personnel, de l'expertise, des équipements de terrassement, des nutriments et des grandes surfaces de terrain, en particulier si le traitement est réalisé in-situ.</p> <p>Le site doit répondre à des critères hydrogéologiques et physiques particuliers.</p> <p>Les critères de sélection incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • pas d'hydrocarbures récupérés; • nécessite beaucoup de tests, de suivi, des travaux mécaniques de fondation ; • nécessite une grande surface ; • la quantité des sols contaminés dispersée augmente le coût.
Impact	Minimal si le suivi est adéquat et si un programme de confinement est mis en place. Toutefois, les émissions de composés volatils organiques peuvent s'accroître. Le compostage par mise en andains conduit à un fort rejet de poussières.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation portant sur les déchets et sur les eaux et sols pollués par les hydrocarbures.
Efficacité	<p>Le compostage est plus rapide que la bio-augmentation sur site : le procédé dure moins d'un an (entre 3 et 6 mois selon le degré de pollution du déchet).</p> <p>La biorestauration dégrade les composés aromatiques, N-alcanes et iso-alcanes. Les résines et les asphaltènes sont généralement résistants à la bioremédiation. Les hydrocarbures cycliques (saturés et aromatiques) sont partiellement biodégradés.</p>

Coût	Cette technique peut être coûteuse comparée au coût de l'épandage (habituellement moins de 50 euros par tonne). Cependant, le compostage ne requiert pas de grands espaces alors que le compost peut être vendu entre 15 et 23 euros la tonne (Source : Damien).
BIORÉMÉDIATION	Bioremédiation: biotierre (ou biopile en anglais)
Description	Le traitement par biotierre (ou <i>biopile</i>) est une technologie de bioremédiation qui procède par excavation de la couche souillée mélangée avec des amendements organiques formant ensuite des tas de compost pour traitement sous couvert. Le principe du biotierre inclut le traitement des substrats, l'aération, l'humidification, l'addition de nutriments et la collecte des lixiviats. Note : Les systèmes connus comme les bioréacteurs sont habituellement utilisés pour le traitement des eaux usées. Ils peuvent également traiter les eaux contaminées par les hydrocarbures. Des tests sont en cours pour le traitement des sols souillés par cette technique. Les eaux souterraines contaminées circulent dans un bassin d'aération où des microbes dégradent la matière organique formant des boues qui sont éliminées ou recyclées.
Type de déchets	Eaux polluées par les hydrocarbures Sédiments légèrement ou moyennement pollués (jusqu'à 5% d'hydrocarbures, ou plus selon l'installation)
Situation / potentiel dans le pays	Techniquement facile à mettre en œuvre si le terrain est mis à disposition sur une longue période (quelques années).
Intérêt	Le biotierre est un traitement plus contrôlé et efficace que le compost, permettant le traitement de plus de sédiments et de déchets souillés. Les matériaux peuvent retourner dans l'environnement d'origine une fois le traitement.
Critère d'entrée	Les hydrocarbures à forte teneur en asphaltènes et en résines se dégradent lentement en raison de leur réticence moléculaire tandis que la dégradation des hydrocarbures à forte teneur en aliphatiques et en aromatiques est plus rapide dans l'environnement adéquat et dépend beaucoup plus des fertilisants. Il est recommandé d'effectuer une analyse par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution et une spectroscopie de masse pour définir la composition de l'hydrocarbure et évaluer sa biodégradabilité. Des essais doivent être menés pour déterminer la biodégradabilité des contaminants et l'oxygénation, ainsi que le taux de charge en éléments nutritifs approprié. Des études de traitabilité en laboratoire ou sur le terrain sont nécessaires pour identifier les meilleures conditions de traitement.
Contraintes opérationnelles	Le site utilisé pour la mise en œuvre de traitement par biotierre dépend du terrain disponible et du volume de déchets à traiter (coût du transport). Des tests (en laboratoire sur des quantités limitées) sont nécessaires. Un suivi continu du contaminant et de l'environnement est nécessaire (l'humidité, la chaleur, les nutriments, l'oxygène et le pH).
Impact	Les biogaz et le lixiviat doivent être gérés de manière appropriée. La zone de traitement est généralement recouverte d'un film imperméable pour réduire les risques d'infiltration de contaminants dans les sols non-pollués.
Contraintes juridiques	Se référer à la réglementation portant sur les déchets et sur les eaux et sols pollués par les hydrocarbures.
Efficacité	La bioremédiation est un procédé à long terme, même si le biotierre accélère ce procédé, la dégradation de composés d'hydrocarbures résistants peut prendre plus de deux ans. La bioremédiation dégrade les composés aromatiques, N-alcanes et iso-alcanes. Les résines et les asphaltènes sont généralement résistants à la biodégradation. Les hydrocarbures cycliques (saturés et aromatiques) sont partiellement dégradés
Coût	Varie selon le volume de déchets à traiter. Varie entre 60 et 200 euros par tonne de déchet à traiter (s'il y a moins de 100 tonnes) et entre 50 et 100 euros par tonne (pour le traitement de 1 000 tonnes de déchets ou plus), les analyses y compris.
TRAITEMENT THERMIQUE	Incinération en usine d'incinération d'ordures ménagères
Description	Incinération en Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM)
Type de déchets	Liquide