



**HAL**  
open science

## **Lavage des sables contaminés par les hydrocarbures en colonne à lit fluidisé : Approche expérimentale**

Mounia Ould Saadi, Salah Dounit

### ► **To cite this version:**

Mounia Ould Saadi, Salah Dounit. Lavage des sables contaminés par les hydrocarbures en colonne à lit fluidisé : Approche expérimentale. Environnement, Ingénierie & Développement, 2014, N°67 - Juin 2014, pp.4-11. <10.4267/dechets-sciences-techniques.210>. <hal-03160910>

**HAL Id: hal-03160910**

**<https://hal.science/hal-03160910v1>**

Submitted on 5 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

## Lavage des sables contaminés par les hydrocarbures en colonne à lit fluidisé : Approche expérimentale.

**OULD SAADI Mounia, DOUNIT Salah**

Laboratoire de Génie des Procédés, Université Kasdi Merbah, BP : 511, route de Ghardaïa, 30000 Ouargla - Algérie

**Auteur/s à qui la correspondance devrait être adressée : [dounit.sa@univ-ouargla.dz](mailto:dounit.sa@univ-ouargla.dz)**

### RESUME

*Au cours de ce travail, une méthode pratique de lavage des sables contaminés par les hydrocarbures (pétrole) en lit fluidisé a été étudiée. Cette méthode consiste à extraire le polluant du sol au moyen de l'eau ordinaire. Le principe repose sur la création d'un mouvement des particules de sable contaminées par circulation d'eau en mouvement ascendant dans une colonne munie d'un distributeur en plaque poreuse. L'eau entraîne dans son mouvement le pétrole qui est par la suite récupéré en haut de colonne. Les mesures expérimentales ont révélé que cette méthode est tout à fait adaptée à ce genre de traitement. Les pourcentages de pétrole récupéré sont de l'ordre de 50 à 65 % cependant les teneurs résiduelles dans le sable restent relativement élevées par rapport aux normes environnementales. Parmi les paramètres opératoires examinés, la température de l'eau et le degré d'agitation du milieu fluidisé influencent de façon remarquable l'efficacité de la dépollution. Par contre, la durée de l'opération et le degré de pollution affectent très peu l'efficacité du traitement. L'absence de tout additif chimique à l'eau rend cette opération à la fois écologique et peu onéreuse.*

**MOTS-CLÉS :** sable, lavage, décontamination, hydrocarbure, lit fluidisé

### ABSTRACT

*In this work, a method for washing sand contaminated by petroleum is described. It consists in extracting the pollutant from the soil grains using fresh water without any chemicals. Two sets of experiments were conducted: at small scale using test tubes and at large scale using one fluidizing column. Experiments with test tubes were performed in batch mode using dune sand of 312  $\mu\text{m}$  mean diameter artificially contaminated with petroleum at an amount of 10 % based on clean sand weight. The study of the effect of many operating parameters on decontamination efficiency has shown that water temperature and agitation intensity exerts remarkable effects. On the contrary, initial contaminant concentration and treatment duration exerts just little effects. Experiments using fluidising column were performed using the same contaminated sand in continuous mode. Sand grains were fluidised by ordinary water at a sufficiently low velocity to avoid any entrainment. Temperature was kept at 50 °C. Results showed that fluidisation is an efficient technique in view of high yield of petroleum recovery (up to 65 % in mass). The absence of any chemical additive to water makes this operation both cheap and ecological.*

**KEYWORDS :** sand, soil washing, decontamination, hydrocarbon, fluidized bed

## Lavage des sables contaminés par les hydrocarbures en colonne à lit fluidisé : Approche expérimentale.

OULD SAADI Mounia, DOUNIT Salah

### INTRODUCTION

L'industrie moderne est apparue il y a environ deux siècles. A cette époque, le sol était considéré comme un milieu capable d'absorber toutes sortes de produits polluants et résidus (métaux lourds, déchets,.....) sans qu'il n'y ait à priori de dégradation liée à son utilisation normale. De plus, les quelques pratiques environnementales existantes ne disposaient d'aucune connaissance ni de retour d'expérience sur le devenir des sols et sur l'élimination des déchets. De nos jours, cette mauvaise gestion des sites industriels a eu pour conséquence :

- Des problèmes de santé publique : exposition de l'homme à des dangers souvent inacceptables. Les substances toxiques s'accumulant le long de la chaîne alimentaire.
- Des problèmes d'aménagement du territoire : les sites trop pollués pour être revendus, constituent souvent, de par leur implantation, un intérêt économique non négligeable.

La reconversion de ces sites semble donc être la solution la plus judicieuse pour permettre le développement durable des agglomérations. La revalorisation économique de ces terrains implique des études d'évaluations de risques et de réhabilitations, tout en tenant compte du contexte socio-économique. En matière d'environnement, l'attention s'était portée durant des années sur les phénomènes visibles tels que la pollution des eaux superficielles, et plus récemment la pollution de l'air. Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que l'on intègre la pollution des sols et des sous-sols dans la lutte pour la protection de l'environnement. Ce souci d'action et de prise de conscience tardive s'explique par le fait que des trois milieux air, eau et sol, le sol est certainement le moins bien connu. En effet, la latence des phénomènes de pollution mis en jeu dans ce milieu ne permet d'en voir les conséquences que des années plus tard, voire des décennies dans certains cas (ENSPM, 2005).

L'industrie pétrolière génère des quantités énormes de sables contaminés par différents polluants, soit accidentellement, soit de façon intentionnelle. A titre d'exemple, les sables des plages sont pollués par les hydrocarbures échappés suite aux accidents de transport des cargaisons des pétrolières ou au dégazage en pleine mer des pétroliers eux-mêmes. D'autres sites peuvent être pollués suite à des fuites au niveau des bacs de stockage, des pipelines ou encore au niveau des installations

industrielles. Une des méthodes de traitement de ces sites consiste à laisser les hydrocarbures se dégrader au contact de la mer et du soleil. Une autre solution consiste au déblaiement de ces sables suivi d'un stockage ou d'une incinération.

Cependant cette solution n'est pas satisfaisante au regard des obligations de ne mettre en décharge que les déchets ultimes non valorisables. Une troisième solution consiste à employer des solvants pour retirer les hydrocarbures des sables. Mais, cette solution est à la fois délicate et coûteuse. De plus elle présente le risque de migration des solvants dans l'environnement et impose un traitement ultérieur du solvant contaminé tel qu'une incinération.

Dans le cadre de la présente étude, c'est la pollution par le pétrole brut qui a été traitée. Le but recherché est à la fois écologique et économique, c'est-à-dire décontaminer un sol contenant des hydrocarbures et récupérer ces derniers pour une éventuelle valorisation dans le secteur énergétique. Pour cela, la technique de lavage par de l'eau ordinaire en lit fluidisé a été adoptée. En effet, l'emploi d'un lit fluidisé de type liquide-solide favorise l'opération de lavage grâce au mouvement intense des particules contaminées provoqué par le passage de l'eau à travers le lit. Aucun additif (tel que des tensioactifs) n'a été ajouté à l'eau afin de conserver un procédé écologique et à moindre coût.

Il faut noter qu'il existe un certain nombre de travaux réalisés dans ce sens qui ont abouti au dépôt de brevets. Cela reste cependant des procédés très complexes faisant intervenir des opérations physiques et des traitements chimiques. Ainsi, Stengel (Stengel, 2003) propose une méthode de dépollution des sables souillés d'hydrocarbures par l'emploi de l'eau oxygénée qui, de par son instabilité, se transforme rapidement en eau et en oxygène et conduit au détachement des hydrocarbures. Le mélange sable souillé – eau oxygénée est par la suite introduit dans un grand récipient rempli d'eau où les particules de sable décantent et les hydrocarbures flottent à la surface. Cette méthode, bien qu'efficace, présente l'inconvénient d'employer des agents chimiques fortement oxydants qui risquent d'attaquer les installations métalliques dans lesquelles le processus de traitement est mis en œuvre. De plus, il s'agit d'un processus relativement coûteux. Costinel (Costinel, 2010) de sa part propose de dépolluer les sables contaminés par les hydrocarbures dans un système constitué d'une série

de réacteurs traversés dans un sens par le courant de sable et dans le sens opposé par un courant d'eau de rinçage. Dans chaque réacteur, le sable contaminé est balayé par un courant de vapeur d'eau dont le rôle est de détacher les hydrocarbures, ensuite rincés grâce à un courant d'eau dont le rôle est d'emporter les hydrocarbures. A la sortie de chaque étage, la solution constituée d'eau et d'hydrocarbures est introduite dans un clarificateur où les très fines particules décantent. Celles-ci sont récupérées puis traitées par incinération car elles renferment encore une certaine quantité d'hydrocarbure. Il apparaît évident que l'emploi de plusieurs appareils (réacteur + décanteurs) ainsi qu'une alternance de vapeur d'eau et de flux d'eau liquide compliquent cette méthode. De plus, le coût de l'opération peut devenir rapidement très élevé. Enfin, le procédé proposé par McCoch et al. (McCoch, 2013) vise la décontamination des sables de bourniers par rapport aux hydrocarbures, aux carbonates de sodium et aux substances radioactives naturellement présentes dans le sable. Le procédé décrit emploie de l'eau chauffée (80 °C), des acides pour convertir les carbonates de calcium en oxyde de calcium et des solvants contenant des agents chélateurs. Des hydro-cyclones et des colonnes d'élu-triation sont également mis en œuvre dans ce procédé. Il s'agit là aussi de procédés complexes, coûteux et difficiles à mettre en œuvre.

## I. Matériels et méthodes

### I.1 Appareillage et procédure expérimentale

Deux types d'expériences ont été réalisés : des essais en système fermé et des essais en système continu.

Le système fermé est constitué d'une simple éprouvette dans laquelle le sable contaminé est mélangé avec une certaine quantité d'eau, ensuite le système est agité vigoureusement. Après décantation, l'huile qui flotte en surface libre est récupérée grâce à une micropipette, puis pesée.

La colonne employée lors des essais de lavage en continu est une colonne en plexiglas de 44 mm de diamètre et de 600 mm de haut. Elle est munie en sa base d'un distributeur à plaque poreuse en métal fritté, d'une pompe pour circulation de liquide, d'un bac de stockage de liquide et d'un dispositif de mesure de la perte de charge à travers le lit de particules. Un dispositif de séparation de l'huile entraînée et de l'eau avant recyclage de cette dernière dans le bac de stockage est également prévu. Il s'agit d'un simple ballon de séparation diphasique séparant de façon continue les deux phases (eau et pétrole) par décantation. La quantité d'huile récupérée est ensuite déterminée par simple pesée.

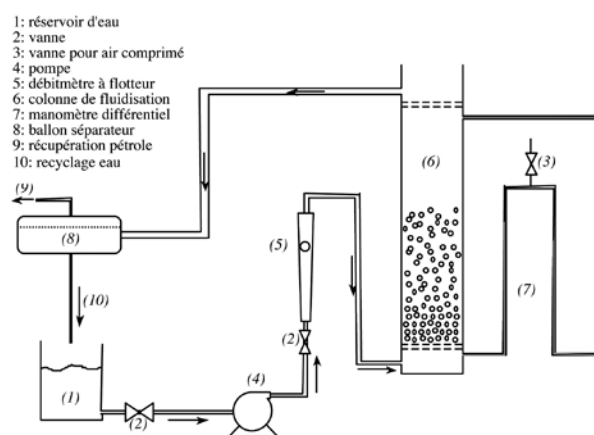
**Tableau I. Teneurs en huile des échantillons préparés.**

Masse de sable (g)	50	50	50	50	50	50
Masse d'huile (g)	1	2,5	3,5	5	6	7,5
Teneurs (pourcentage en masse) %	2	5	7	10	12	15

Pour les deux systèmes, le rendement en huile est défini comme le rapport entre la masse d'huile récupérée à la fin de l'opération de lavage et la masse initiale d'huile présente dans l'échantillon traité. La figure 1 montre un schéma de l'appareillage employé.

### I.2 Préparation des échantillons

Le sable utilisé est du sable de dune, celui même retrouvé dans les zones contaminées situées dans le sud Algérien. La première étape de conditionnement consiste à le tamiser pour éliminer les grosses particules de diamètre supérieur à 0,5 mm et les fines particules de diamètre inférieur à 0,125 mm. Le tamisage a été fait sur tamiseuse à l'aide de deux tamis.



**Figure 1. Schéma de l'appareillage employé (système continu).**

Afin de pouvoir déterminer expérimentalement le taux de récupération de l'huile et le degré de dépollution des échantillons de sable, nous avons procédé à la préparation d'une quantité de sable contaminé en réalisant un mélange de sable tamisé et de pétrole brut. Les teneurs en huile dans le sable ont été choisies conformes aux valeurs communément observées par des organismes de contrôle en analysant des échantillons issus de zones industrielles réellement contaminées (RSK, 2010). La méthode de pesage a été adoptée pour préparer les échantillons comme l'indique le tableau 1. Le pétrole employé est issu des champs pétroliers de Hassi Messaoud, au sud de l'Algérie. Il s'agit d'un brut léger à faible teneur en soufre (densité: 43 à 47 °API et teneur en soufre : 0,1 %) et de composition essentiellement paraffinique (autour de 77 % de paraffines, 20 % d'aromatiques, 3% autres) (Jokuty, 2011). Il est important de noter que les teneurs en huile dans les échantillons reportées dans le tableau 1 sont définies comme le rapport entre la masse d'huile mélangée au sable et la masse de sable propre.

**Tableau 2. Quantités d'huiles récupérées en fonction du degré d'agitation.**

Degré d'agitation	Très faible	Faible	Fort
Quantité récupérée (g)	1.81	2.55	0
Rendement (%)	39	56	0
Teneur résiduelle en huile (%)	6.01	4.3	10

## 2. Résultats et discussions

### 2.1. Essais en batch

La procédure consiste à mélanger dans des éprouvettes de 100ml, 50g de sable et 50g d'eau. Les effets de plusieurs paramètres opératoires ont été examinés à travers plusieurs séries d'expériences, en l'occurrence le degré d'agitation, la température de l'eau, le temps de lavage et le degré de pollution

#### 2.1.1 Effet de l'agitation.

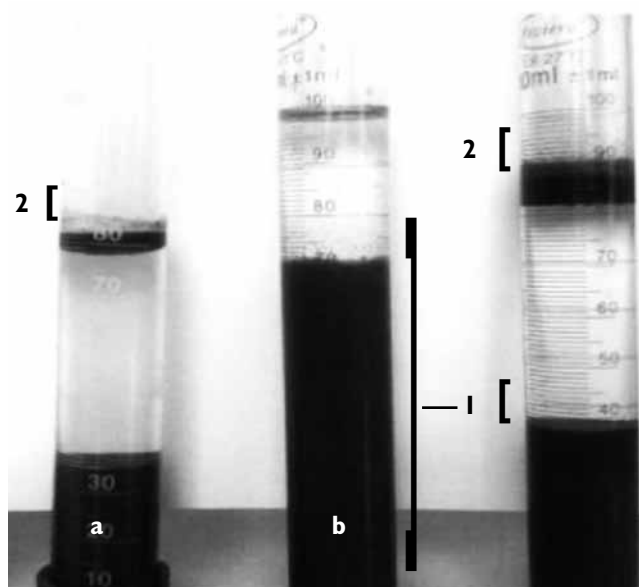
Dans trois éprouvettes différentes, trois échantillons contenant 10% de contaminant ont été placés et agités à des degrés d'agitation différents comme indiqué sur le Tableau 2. Au cours de ces essais, la température a été gardée constante à 45°C grâce à un bain thermostaté. Les quantités d'huiles récupérées ainsi que les rendements sont reportés dans le tableau 2.

La Figure 2 montre une image des trois éprouvettes prise 24 heures après la fin de l'opération. Les observations suivantes ont été effectuées :

- (i) la quantité d'huile récupérée est plus importante dans l'éprouvette faiblement agitée que dans celle fortement ou non agitée.
- (ii) l'agitation favorise l'apparition d'une couche sombre huileuse qui se positionne entre la couche de sable et la couche d'eau. Son épaisseur est d'autant plus importante que la vitesse d'agitation est élevée.
- (iii) Dans l'éprouvette fortement agitée, la quantité d'huile séparée est si faible qu'il est impossible de la récupérer et de la peser.

Ces observations indiquent que d'un côté l'augmentation de l'agitation entraîne un mouvement plus intense des particules imprégnées d'huile ce qui favorise son détachement, et de l'autre côté, l'agitation favorise la formation d'une émulsion d'huile dans l'eau stabilisée par la présence de très fines particules. En effet, la couche huileuse possède une densité plus élevée que celle de l'eau pure et plus faible comparée à celle des particules solides. Cette observation a déjà été reportée dans la littérature au cours d'expériences similaires aux nôtres. En effet, Wawan et ses collaborateurs (Wawan, 2010) ont effectué des essais de décontamination de sable pollué par des hydrocarbures aromatiques (pyrène, phénanthrène, naphthalène) dans des tubes après mélange avec de l'eau et suite à une agitation manuelle d'une minute. Après décantation pendant 30 minutes, les échantillons ont été congelés afin de conserver la localisation des différentes couches dans le tube. Suite au découpage des tranches et à l'analyse granulométrique,

les auteurs se sont aperçu que la première tranche située en bas du tube possédait la composition suivante : 43,8 % sable fin (0,075 - 2 mm), 48,5 % sable fin (0,075 mm), 5,1 % limon (0,005 - 0,075 mm) et 1,6 % d'argile (<0,0075 mm). La seconde tranche située en haut possédait la composition suivante: 1,0 % de sable, 6,9 % de sable fin, 37,0 % de limon et 55,1 % d'argile. Ceci montre que la couche supérieure a été formée grâce à la présence de très fines particules. De leur côté, Valliapan et ses collaborateurs (Valliapan, 2000) ont effectué des essais de décontamination sur deux types de sols, un sol sableux (diamètre entre 0,2 et 0,3 mm) et un sol constitué de sable limoneux (0,001 - 1 mm). Plusieurs expériences ont également été effectuées en mélangeant une quantité de Kaolin (diamètre entre 0,0001 et 0,01 mm) au sol sableux. La teneur de Kaolin a été variée afin de voir l'influence des fines sur l'efficacité de décontamination. Leurs résultats ont montré que plus la teneur de kaolin était élevée, plus la quantité de polluant enlevée était importante. Ceci tend à montrer que la présence de fines retient les contaminants grâce à sa grande surface de contact.



**Figure 2. Effet de l'agitation sur les échantillons lavés**

- (1) : Emulsion
- (2) : Huile récupérée
- (a) : Echantillon très faiblement agité
- (b) : Echantillon fortement agité
- (c) : Echantillon faiblement agité

Dans le but de confirmer cette explication, nous avons réalisé un essai dans les mêmes conditions que celles des essais précédents mais en utilisant du sable très fin, de granulométrie inférieure à 0,125 mm. La figure 3 montre que la hauteur de

la couche de sable a été doublée par rapport à sa valeur initiale sans apparition d'une séparation nette entre le sable et la suspension stabilisée. Ceci est conforme avec les observations reportées dans la bibliographie (Bin Othman'09).

Il apparaît donc qualitativement qu'une faible agitation des échantillons soit une solution appropriée pour obtenir un bon rendement en huile (ici 56%) et éviter la formation de l'émulsion stable eau-huile-fines particules.



Figure 3. Aspect d'un échantillon de sable fin après lavage.

### 2.1.2 Effet de la durée de l'opération.

Afin de juger de l'effet éventuel que pourrait avoir le temps d'opération sur le rendement, une série d'expériences a été effectuée dans les mêmes conditions opératoires (température de 30°C, 50g de sable à 10% d'huile et 50g d'eau, agitation faible) mais avec des temps d'agitation différents. Le Tableau 3 regroupe les résultats obtenus.

Comme l'indique ce tableau, le pourcentage d'huile récupérée reste sensiblement identique pour toutes les manipulations quel que soit le temps de l'opération, autour de 49%. L'écart type des fluctuations autour de la moyenne ne dépasse pas 2%. Ainsi, il apparaît que le temps d'opération n'a que très peu d'effet sur la dépollution du sable.

### 2.1.3 Effet de la température.

L'effet de la température sur l'efficacité du lavage a été testé à travers une série d'expériences semblables aux précédentes effectuées à des températures entre 40 et 80 °C. Le sable utilisé est contaminé à 10%. Le maintien de la température est réalisé à l'aide d'un bain thermostaté. Le temps de lavage est de 15 minutes et l'agitation est faible. A la fin de l'opération, les échantillons sont laissés à température ambiante pendant quelques heures pour décanter. Les résultats obtenus sont reportés dans le Tableau 4.

Ce tableau montre que le taux de récupération de l'huile augmente avec la température de l'eau de lavage de 50% à 40 °C à 63,8% à 80 °C. Cela est vraisemblablement dû à la réduction de la viscosité de l'huile qui devient ainsi plus mobile et se regroupe à la surface de l'eau. Le gain en rendement est une justification relative à une consommation énergétique supérieure nécessitée par une température de travail plus élevée (40 degré d'écart). Il y a en effet un compromis à trouver entre l'énergie employée et le rendement de la décontamination.

Par ailleurs, l'épaisseur de la couche d'émulsion eau-huile-sable fin devient plus importante à mesure que la température augmente. La Figure 4 montre en effet que le volume de cette

Tableau 3. Quantités d'huiles récupérées en fonction du temps de lavage

Temps écoulés (min)	15	30	45	60
Quantité d'huile récupérée(g)	2,20	2,36	2,13	2,31
Rendement (%)	48,0	51,9	46,0	50,8
Teneur d'huile résiduelle (%)	4,6	4,3	4,8	4,4

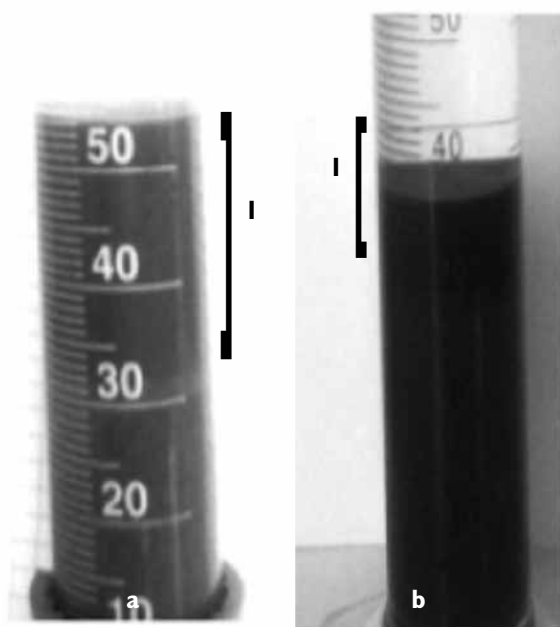
Tableau 4. Quantités d'huiles récupérées en fonction de la température de l'eau de lavage

Température (°C)	40	50	60	70	80
Quantité récupérée (g)	2,30	2,53	2,50	2,82	2,90
Rendement (%)	50,0	55,0	55	62,1	63,8
Teneur résiduelle d'huile (%)	4,40	4,02	4,08	3,40	3,20

couche passe de 9 ml à 40°C à 23 ml à 80°C. Ce comportement semble indiquer une formation de l'émulsion favorisée par les hautes températures.

#### 2.1.4 Effet du degré de pollution

Etant donné que dans la réalité la contamination des sables peut avoir plusieurs origines et différents mécanismes (déversement direct des hydrocarbures, entraînement par les eaux pluviales, percolation à travers les alvéoles entre particules), il apparaît adéquat d'examiner l'influence de la teneur initiale d'huile sur l'efficacité des lavages. Pour simuler cela, nous avons préparé plusieurs échantillons de sable contaminés à différentes teneurs. Le Tableau 5 contient les quantités initiales d'huile mélangées avec 50g de sable, les quantités récupérées ainsi que les rendements. Ces expériences ont été réalisées à température ambiante avec une agitation continue de faible intensité pendant 15 minutes.



**Figure 4. Effet de la température sur le volume de l'émulsion** (a): 80°C, (b): 40°C

Il apparaît d'après ce tableau que le pourcentage d'huile soutirée est sensiblement identique quelle que soit la teneur initiale en hydrocarbures. Il est de l'ordre de 50%. Ceci montre que ce paramètre n'exerce que très peu d'effet sur l'efficacité de l'opération.

**Tableau 5. Quantités d'huiles récupérées en fonction du degré de contamination**

<b>Pourcentage initial (%)</b>	5	7	12	15
<b>Quantité initiale (g)</b>	2,5	3,5	6,0	7,5
<b>Quantité récupérée (g)</b>	1,24	1,78	2,90	3,00
<b>Rendement (%)</b>	49,7	50,0	48,5	51,0
<b>Teneur résiduelle en huile (%)</b>	2,52	3,44	6,20	9,00

## 2. Essai en batch sur colonne

Afin d'examiner l'influence de la taille du séparateur sur l'efficacité de séparation du pétrole du sable contaminé, un essai de lavage en système fermé avec la colonne de fluidisation a été réalisé. L'idée consiste à effectuer un lavage dans des conditions semblables à celles retenues lors des essais en éprouvette, avec une agitation assurée par une injection continue d'air. Cet essai a été réalisé dans les conditions reportées dans le Tableau 6, avec 200g de sable contaminé à 10% mélangés à 0,65 litres d'eau.

**Tableau 6. Conditions opératoires et résultats des essais de lavage**

<b>Température de l'eau (°C)</b>	75
<b>Débit d'air (l/min)</b>	20
<b>Quantité d'huile récupérée (g)</b>	7,37
<b>Rendement (%)</b>	40
<b>Teneur résiduaire d'huile (%)</b>	6

Le pourcentage d'huile récupérée (40%) est remarquable mais reste inférieur à celui obtenu en éprouvette dans des conditions similaires. Cela peut être expliqué par l'apparition d'un volume important de l'émulsion eau-huile stabilisée par les fines particules qui retiennent une quantité non négligeable d'huile comme le montre la Figure 5. L'important débit d'air semble être à l'origine de la forte agitation du milieu, ce qui conforte les conclusions tirées à partir des essais en éprouvette. De plus, la grande surface de la colonne comparée à l'éprouvette retient également une quantité non négligeable d'huile.



**Figure 5. Échantillon lavé en colonne par barbotage d'air**

### 2.3. Essais en continu

Lors des essais en continu, deux expériences ont été effectuées : l'une avec alimentation continue de la colonne en eau fraîche et l'autre avec alimentation continue en eau recyclée après séparation avec l'huile entraînée. Le sable utilisé est identique à celui employé lors des essais de lavage en éprouvette, c'est-à-dire des particules de 312µm de diamètre moyen contenant 10% en masse de pétrole brut. La charge traitée est de 200g et la température de l'eau est de 50°C. Les résultats de ces deux essais sont reportés dans le tableau 7.

**Tableau 7. Résultats des essais de décontamination en système continu**

	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>ème</sup> essai
<b>Eau de lavage</b>	Fraîche	Recyclée
<b>Quantité récupérée d'huile (g)</b>	8,84	5,64
<b>Rendement (%)</b>	48	31
<b>Teneur résiduaire d'huile (%)</b>	5,1	6,9

Il apparaît que la quantité de pétrole récupérée au cours du premier essai est plus importante que celle obtenue au cours du second essai. Ceci est la conséquence d'une mauvaise séparation en sortie de colonne. Une faible quantité d'huile se retrouve ainsi introduite à nouveau dans la colonne. Toutefois, le rendement reste conséquent, ce qui montre l'efficacité du lavage en lit fluidisé. Cette efficacité est encore plus évidente lors du premier essai où un rendement de 48 % a été mesuré. De plus, ce mode de traitement semble avoir un autre avantage qui est l'absence de la couche constituée de l'émulsion stable eau-huile-sable fin. Ceci peut être expliqué par un entraînement rapide de très fines particules par le flux liquide dès le premier passage.

### 2.4 Efficacité de la décontamination

L'examen des teneurs résiduaire de l'huile dans les différents échantillons lavés dans différentes conditions opératoires (agitation, durée, température et degré de pollution variables), reportées dans les Tableaux 2, 3, 4 et 5 respectivement, a montré que la majorité d'entre elles a été réduite de plus de la moitié par rapport aux valeurs initiales avant traitement. Toutefois, les teneurs résiduaire restent largement au-dessus des valeurs préconisées par la réglementation dans certains pays européens, notamment en Belgique où le Décret relatif à la gestion des sols entré en vigueur le 18.05.2009 (Gou, 2009) spécifie que la teneur maximale d'hydrocarbures pétroliers admise dans un sol pollué est de 0,61 % sur la base de la masse sèche de solide. Au-delà de cette valeur, un traitement est obligatoire. Dans la présente étude, les valeurs les plus élevées des teneurs résiduelles ont été observées soit lors des essais réalisés en éprouvette ou en colonne en présence d'une forte agitation, soit lors des essais en éprouvette avec une très faible agitation du milieu. Dans le premier cas, l'huile forme un

grand volume d'émulsion stabilisé par les fines particules et dans le second cas, l'huile reste emprisonnée dans la couche de sable. Il apparaît ainsi que la décontamination par lavage en utilisant de l'eau ordinaire est un procédé efficace du point de vue du rendement, à condition que l'agitation du milieu soit intermédiaire. Cependant, du point de vue élimination de la pollution, il semblerait qu'il soit moins efficace en raison des fortes teneurs de départ. En plus, c'est un procédé écologique et peu coûteux car aucune substance chimique n'a été ajoutée à l'eau au cours du traitement. L'examen visuel du sable traité après séchage indique un éclaircissement de sa couleur comparé au sable contaminé initial, comme le montre la Figure 6.



**Figure 6. Examen visuel du sable traité après séchage**  
(a): sable propre, (b): sable lavé, (c) sable contaminé

## CONCLUSION

La mise en contact de sable imbibé d'hydrocarbures et d'eau en présence d'une agitation conduit à un décollement du film huileux entourant chaque particule selon un processus mécanique d'entraînement. Cette étude a permis de montrer grâce aux expériences réalisées en système fermé que, parmi les paramètres opératoires testés, seuls la température et le degré d'agitation exerçaient des effets notables. Une température de l'ordre de 70°C et une faible agitation du milieu constituent des conditions favorables à une décontamination partielle. En système ouvert, les résultats ont montré que le maintien d'une alimentation continue en eau fraîche (non recyclée) améliore le rendement en huile comme il permet d'éviter la formation de l'émulsion eau-huile stabilisée par les fines particules. Les rendements en pétrole récupérés sont relativement importants, entre 50 et 65 %.

## Références bibliographiques

BIN OTHMAN Ahmad Syaqui. Study on emulsion stability and chemical demulsification Characteristics, Bachelor of chemical engineering, Pahang: University of Malaysia Pahang, 2009, 82 p.

COSTINEL Paul. Method and apparatus for washing particulate matter: Brevet US7704400B2, 27 avril 2010

ENSPM Protection de l'environnement, Protection des sols et des sous-sols, pollution et technique de décontamination, 2005. Formation industrie, IFP training.

GOUVERNEMENT DE WALLONIE, Décret relatif à la gestion des sols (1) (M.B. 18.02.2009 add. 06.03.2009 – entrée en vigueur le 18.05.2009) (En ligne) disponible sur: <http://environnement.wallonie.be/legis/solsoussol/sol003.htm> (consulté le 18 décembre 2013).

JOKUTY P., Properties of crude oil and oil products (Not just another pretty database). Proceedings of Int. oil spill conf., Vol. 2011, N°: 1, 2011, pp: 975-981.

McCOSH Karen. BENSON Charles. WILLIAMS, Steven. et al. Method and system for decontaminating sand. Brevet EP2533914B1. 12 juin 2013.

RSKenvironmentltd, BHT consultebeleghouini& Cie. Etude d'évaluation dans le but de bonification du site contaminé de ROM Wilaya de Ouargla Algérie. I50941-R01, Ouargla: Groupement Sonatrach-Agip, 2010, 148 p.

STENGEL Patrice. Procédé de dépollution de sols pollués par des hydrocarbures. Brevet EP1268095B1. 17 septembre 2003

VALLIAPAN S., KHALILI N., NIVEN R. K., A new technology for remediation of contaminated sites in lowland areas. Lowland Technology International, 2000, Vol. 2, N° 2, pp : 43-54.

WAWAN Budianta. CHRIS Salim. HIROFUMI Hinode. et al. Remediation of organics-contaminated sandy soil by in-situ washing. 06 juin 2010, Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy, Vol. 15, Article 15. Disponible sur : <http://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol15/iss1/15> (consulté le 15 avril 2012).