

Conséquences de la pollution accidentelle par le pétrole brut sur certaines caractéristiques physico-chimiques et biologique d'un agro-écosystème dans la région de Constantine

FADEL¹ D.; DELLAL² A.; BADOUNA¹ B.E

¹Laboratoire Sciences et Techniques du Vivant- Institut Agro-Vétérinaire Taoura - Université Mohamed Chérif Messaadia - Souk-Ahras - Algérie

²Laboratoire d'Agro-biotechnologie – Faculté des sciences de la Nature et de la Vie- Université Ibn Khaldoun – Tiaret - Algérie

Email Auteur correspondant: fadeldjamel@gmail.com

Résumé

Nos travaux ont pour but de mettre en évidence les conséquences du déversement accidentel du pétrole brut dû à une rupture d'un oléoduc sur un agro-écosystème dans la commune d'Aïn Smara dans la wilaya de Constantine. Ils ont pour objectifs dans un premier temps de quantifier les concentrations du pétrole brut dans les différents horizons des profils culturaux. Ensuite évaluer l'impact du déversement du pétrole brut sur certaines caractéristiques des sols. Compte tenu que la pollution par le pétrole brut peut altérer certaines caractéristiques des sols, nous avons retenus sept (07) paramètres qui nous semblaient les plus susceptibles à une altération en contact du pétrole brut. Ces paramètres de nature physico-chimiques et biologiques sont représentés par la texture, la structure, la porosité, le pH, le carbone, la matière organique et l'activité biologique (T.M.G.C) après quinze jours d'incubation des échantillons de sols contaminés. Pour mettre en évidence ces altérations nous les avons comparé à un sol témoin ou de référence prélevé sur le même site mais épargné par la contamination par le pétrole brut.

Mots clés : Agro-écosystème - contamination - horizon - paramètre – pétrole - sol

Abstract

Our work aims to highlight the consequences of the spill of crude oil due to a ruptured pipeline on an agro-ecosystem in the town of Ain Smara in the wilaya of Constantine. They aim initially to quantify the concentrations of crude oil in the different horizons of crop profiles. Then assess the impact of crude oil spill on some soil characteristics. Given that pollution by crude oil can alter certain soil characteristics, we selected seven (07) parameters that we seemed most likely to altered contacting the crude oil. These physico-chemical and biological nature of the parameters are represented by texture, structure, porosity, pH, carbon, organic matter and the biological activity (TMGC) after fifteen days of incubation samples of contaminated soils. To highlight these changes we have compared to a control or reference soil taken from the same site but spared contamination by crude oil.

Keywords: Agro-ecosystem - contamination - horizon - setting - oil - ground

I – INTRODUCTION

Les travaux ont été réalisés en vue d'établir des vérités à la lumière des connaissances scientifiques et techniques sur les conséquences de la pollution des sols par le pétrole brut dans les parcelles cultivables dans la commune d'Aïn Smara. C'est dans ce cadre que nous avons procédé à une évaluation quantitative du pétrole brut dans les différents horizons des profils culturaux et de son impact sur certaines caractéristiques des sols contaminés. Compte tenu que la pollution par le pétrole brut peut altérer certaines caractéristiques des sols, nous avons retenus sept (07) paramètres qui nous nous semblaient les plus susceptibles à une altération en contact du pétrole brut (Kaouritchev., 1983 ; Arrouays et *al.*, 1999 ; Bordjiba., 2002 ; Breure., 2004). Ces paramètres de nature physico-chimiques et biologiques sont représentés par la texture, la structure, la porosité, le pH, le carbone, la matière organique et l'activité biologique (T.M.G.C) après quinze jours d'incubation des échantillons de sols contaminés (Soltane et *al.*, 2007). Pour mettre en évidence ces altérations nous les avons comparé à un sol témoin ou de référence prélevé sur le même site mais épargné par la contamination par le pétrole brut.

II - CARACTERISATION DU SITE ET OCCUPATION ACTUELLE DES SOLS

1 - Caractérisation du site d'étude

La zone d'étude qui comprenant plusieurs lots parcellaires, occupe globalement un secteur compris dans un quadrilatère situé entre deux axes routiers :

- au Sud par la route nationale n° 5 reliant Constantine à Alger ;
- au Nord par la bretelle autoroutière qui contourne l'agglomération d'Aïn Smara (Fig. 1)

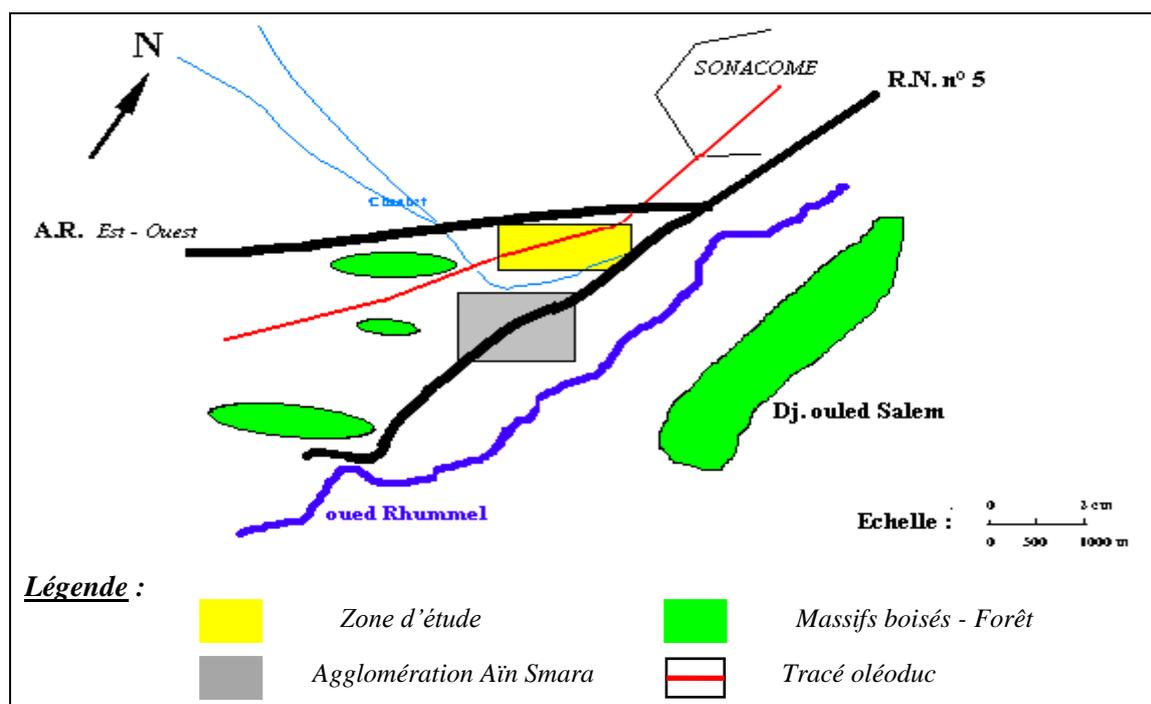


Figure 1 - Plan de situation de la zone d'étude (SARL Landscape Architecture 1998)

Topographiquement le périmètre d'étude se révèle très hétérogène. Il présente divers modelés parcellaires résultant des variations des pentes. Ces dernières présentent des inclinaisons

tantôt longitudinales orientées d'Ouest en Est, tantôt transversales orientées du Nord-Sud. Les pentes varient de 0 à 15 % (Fig. 2).

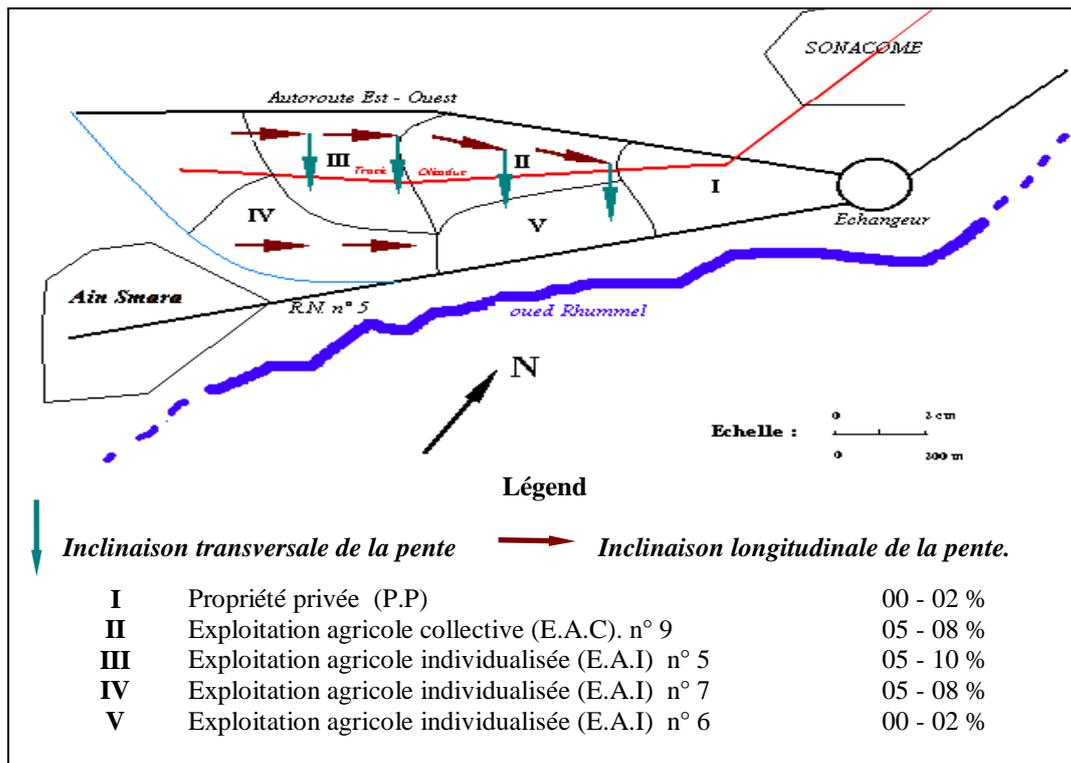


Figure 2 - Plan des pentages parcellaires (SARL Landscape Architecture 1998)

Le périmètre d'étude est rattaché administrativement à la commune d'Aïn Smara située au Sud - Ouest de Constantine Chef-lieu de Wilaya (Inspection de l'environnement de Constantine., 1994)

La région d'Aïn Smara se trouve à une altitude de 680 mètres aux coordonnées suivantes :

- Latitude 36 ° Nord
- Longitude 6 ° - 38 Est

Elle est caractérisée par les paramètres pluvio-thermiques représentés sur le tableau 1

Tableau 1 - Paramètres pluvio-thermiques moyennes sur 10 ans (2000 - 2009)

$P_{(mm)}$	$M_{(C)}$	$m_{(C)}$	$Q = 3,43 \frac{M-m}{P}$
450	28	03	61 - 62

- P : pluviométrie moyenne annuelle exprimée en millimètre.
- M : moyenne des maxima des mois les plus chauds exprimés en degré Celsius.
- m : moyenne des minima des mois les plus froids exprimés en degré Celsius.
- Q : quotient pluviothermique de STEWART.

Aïn Smara possède un micro-climat particulier défini par :

- une irrégularité des précipitations où le total pluviométrique annuel est relativement faible ;
- une période de sécheresse qui s'étale du mois d'Avril à Septembre.

2 - Occupation actuelle des sols

Le périmètre d'étude couvre une superficie d'environ de 50 hectares (Fadel., 2015a). Il est reparti selon le plan parcellaire de la figure 3. Il comprend des exploitations agricoles collectives et individualisées (E.A.C - E.A.I) ainsi qu'une propriété privée (Délégation de l'agriculture Aïn Smara., 2004)

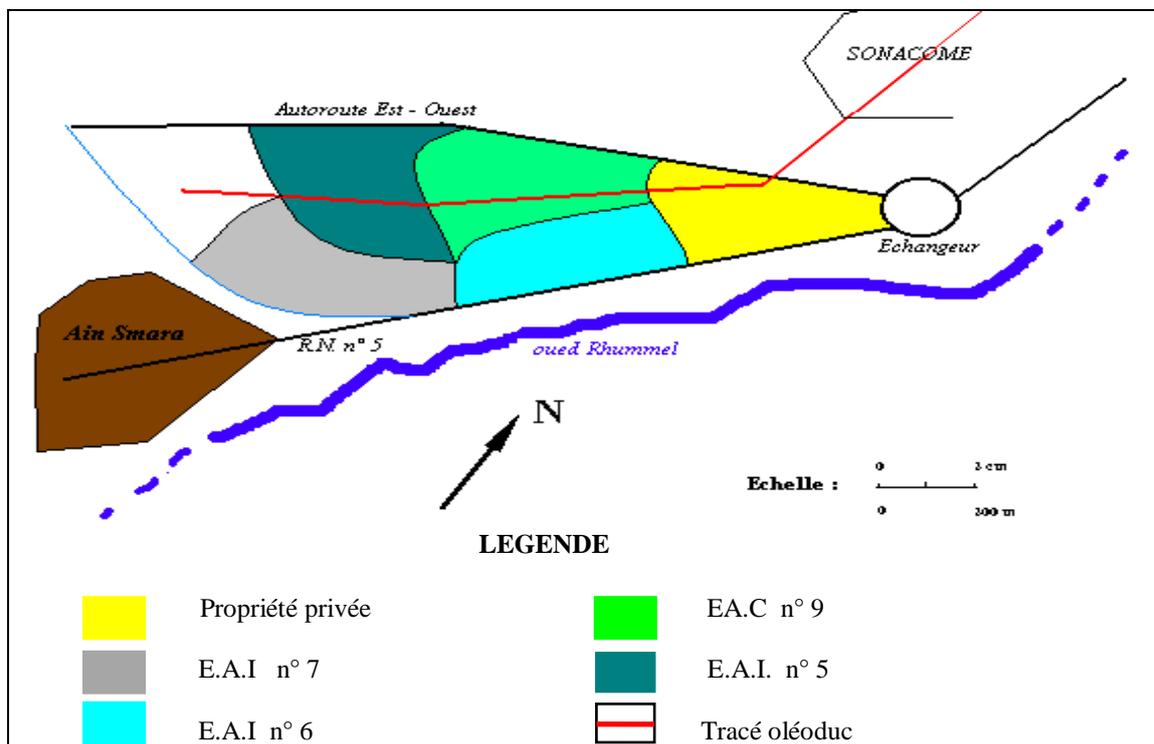


Figure 3 : Plan parcellaire de la zone d'étude selon (SARL Landscape Architecture 1998)

Les exploitations concernées par l'étude sont :

- Exploitation agricole individualisée (E.A.I) n°5
- Exploitation agricole individualisée (E.A.I) n°6
- Exploitation agricole individualisée (E.A.I) n°7
- Exploitation agricole collective (E.A.C) n°9
- Propriété privée (P.P)

III - METHODES D'ETUDE

1- Méthodes d'analyses physico-chimiques et biologiques des sols

Les analyses des sols sont précédées dans tous les cas sauf pour l'activité biologique d'une préparation des échantillons qui consiste en :

- séchage à l'air ;
- broyage de l'échantillon ;
- tamisage au tamis de 2 mm de diamètre pour les analyses du pH et la granulométrie ;
- tamisage au tamis de 0,2 mm de diamètre pour l'analyse du carbone.

- **Granulométrie** a été réalisée par la méthode de ROBINSON.

- **pH** a été déterminé sur un extrait aqueux au rapport 1/2,5 par la méthode électro métrique basée sur la méthode de NERSAT.

- **Densité apparente - Densité réelle** - Estimation de la porosité par l'échelle de Katchinski
- **Carbone total (C)** a été déterminé par la méthode ANNE modifiée.
- **Matières organique (M.O)** est obtenue par le produit du carbone total en % par un coefficient qui est de 1,72.
- **Activité biologique ou taux de minéralisation global cumulé (T.M.G.C)** a été déterminée grâce à la méthode du respiromètre de Warburg.

2 –Principe expérimentale du dosage du pétrole brut dans les sols

Le dosage des produits pétroliers dans les sols est délicat à réaliser non seulement à cause de leur évaporation et de leur dégradation chimique et bactérienne mais en plus à cause de leur migration à des distances plus ou moins importantes dans les sols. Les hydrocarbures sont extraits par le tétrachlorure de carbone et dosés par spectrométrie infrarouge selon l'expression des résultats suivants :

- A_1 ; A_2 ; A_3 , les lectures aux trois longueurs d'onde du témoin (3,38 – 3,42 et 3,50 μ) ;
- B_1 ; B_2 ; B_3 , celles des échantillons des sols.

Nous calculons ensuite pour chaque longueur d'onde les densités optiques correspondantes D_1 D_2 D_3 à partir de la relation :

$$D = \log \frac{A}{B}$$

Avec :

D : densité optique

A : lecture du témoin aux trois longueurs d'ondes (3,38 – 3,42 et 3,50 μ)

B : lecture correspondantes des échantillons de sols aux trois longueurs d'ondes (3,38 3,42 et 3,50)

IV – RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1- Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols du site d'étude

Le tableau 2, regroupe les données sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols des différents profils culturaux du site d'étude.

Tableau 2 - Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols du site d'étude

Paramètres	Désignation					
	<i>E.A.I</i> N° 5	<i>E.A.I</i> N° 6	<i>E.A.I</i> N° 7	<i>E.A.C</i> N° 9	<i>P.P</i>	<i>Sol témoin</i> <i>ou de</i> <i>référence</i>
<i>Texture</i>	Argilo-limoneuse à limoneuse	Argilo-limoneuse	Limoneuse	Argilo-limoneuse	Limono-argileuse à limoneuse	Limono-argileuse
<i>Structure</i>	Prismatique	Polyédrique	Prismatique à Polyédrique	Prismatique à Polyédrique	Prismatique	Prismatique à Polyédrique
<i>Porosité</i> (%)	15 -35	22 - 30	30 - 35	22 - 55	19 - 27	25 - 29
<i>pH</i>	7,9 - 8,2	7,2 – 7,4	7,8 – 8,0	7,6	7,6	7,5 – 7,7
<i>Carbone</i> (%)	02,60	4,2 - 5	01 – 2,7	02,00	2,4 – 3,5	02,00
<i>Matière organique</i> (%)	04,80	7,2 – 9,4	1,7 – 4,7	03,50	04 - 06	1,68 – 3,5
<i>Activité biologique</i> <i>T.M.G.C</i> <i>après 15 jours</i> <i>d'incubation</i>	01,10	1,5 – 2,30	1,3 – 1,5	1,25 – 1,75	01,90	01,45

Il ressort que les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols contaminés par le pétrole brut se rapprochent dans l'ensemble à celles du sol témoin ou de référence (sol non pollué). Cette constatation nous amène à tirer deux conclusions importantes :

- tous les profils culturaux étudiés sont homogènes et représentent par conséquent un même type de sol ;

- leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques reflètent globalement la classification d'un sol brun calcique même si certaines caractéristiques des sols contaminés par le pétrole brut ont des valeurs différentes à celles du sol témoin ou de référence. Ces variations sensibles n'ont aucune valeur significative sur le plan pédologique et agronomique. Toutes les interprétations possibles sur ces variations sont données dans la partie « évaluation des interactions du pétrole brut sur les caractéristiques des sols ».

Les résultats des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de tous les profils culturaux étudiés, nous conduisent aux interprétations suivantes :

- **sur le plan textural** : d'une manière générale tous les horizons des profils culturaux présentent une texture limoneuse à argileuse. Ceux sont donc des sols constitués d'éléments granulométriques fins. Ils sont chimiquement bien pourvus en élément minéraux mais présentent des propriétés physiques défavorables (imperméables, mal aérés, très compacts, formant des croûtes de battance) qui font d'eux des sols difficiles à travailler. La photo ci-dessous illustre bien ces propriétés physiques défavorables de ces sols.



Photo 1 : Croûtes de battance du sol de l'exploitation agricole individualisée N° 6

- **porosité** : la porosité est la fraction de volume du sol en place et non occupé par la matière solide Cette porosité totale comprend la macroporosité et la microporosité (Fig.4, I.a). Elle est obtenue par la relation entre la densité réelle (d_r) et la densité apparente (d_a). Les résultats de la porosité des sols représentés sur le tableau 7, comparés à l'échelle de la porosité de Katchinski attestant que les profils culturaux ont une porosité faible à très faible à l'exception des sols de la propriété privée (P.P).

Cette faible porosité est essentiellement due à la nature des sols étudiés, constitués essentiellement d'éléments fins (argiles et limons). Les sols de la propriété privée (P.P) qui sont de même nature que les autres sols, ont une porosité plus élevée. Ceux des labours réalisés sur ces parcelles qui sont à l'origine de l'élévation de la macroporosité.

- **carbone et matière organique** : à l'exception des profils culturaux de l'E.A.I. N° 6 et de l'E.A.C. N° 9, les sols étudiés sont relativement dépourvus en matière organique (Fig.4, I.b). Le taux de la matière organique est déterminé à partir du taux de carbone associé à un coefficient. Ceci explique que les quantités de carbone déterminées au niveau des profils culturaux de l'E.A.I. n°6 et de l'E.A.C. n° 9 ne seraient pas d'origine « in situ » c'est à dire contenus dans la matière organique qui s'est formé sur place. Elles proviendraient en majeure partie du carbone qui aurait pour origine la présence des hydrocarbures (Fig.4, I.c). A noter que ceux sont les parcelles les plus concernées par l'émergence du pétrole brut.

- **pH des profils culturaux** : l'influence du pH des sols sur la vie des plantes est probable mais complexe. Il pourrait avoir une influence sur la structure des sols, sur l'assimilabilité des éléments nutritifs par les plantes et sur l'activité biologique des sols. Tous les profils culturaux étudiés présentent un pH peu basique à moyennement basique (Fig.4, I.d), le pH optimal d'un sol se situe entre 6,5 et 7. Les cultures résistent mieux à l'acidité un peu forte qu'à une alcalinité exagérée.

- **activité biologique ou taux de minéralisation globale complémentaire (T.M.G.C)** : l'activité biologique a été mesurée à l'aide du taux de minéralisation globale cumulé par l'incubation des sols durant une quinzaine de jours. L'histogramme (Fig.4, I.e), montre un taux de minéralisation globale cumulé plus élevé chez l'E.A.I. N° 6 et l'E.A.C. N° 9 que ceux des autres profils même celui du témoin auquel nous avons ajouté du glucose qui est très facilement assimilable par la flore tellurique (voir graphiques en annexes). D'une manière générale, tous les graphiques se caractérisent par deux phases : une phase de croissance rapide durant la première semaine suivie d'une phase de stabilisation vers la deuxième semaine. Le pouvoir minéralisateur

des sols de l'E.A.I. N° 6, l'E.A.C. N° 9 et du sol témoin contenant du glucose, demeure le plus élevé. Ceci est lié à la présence des hydrocarbures et des hydrates de carbone.

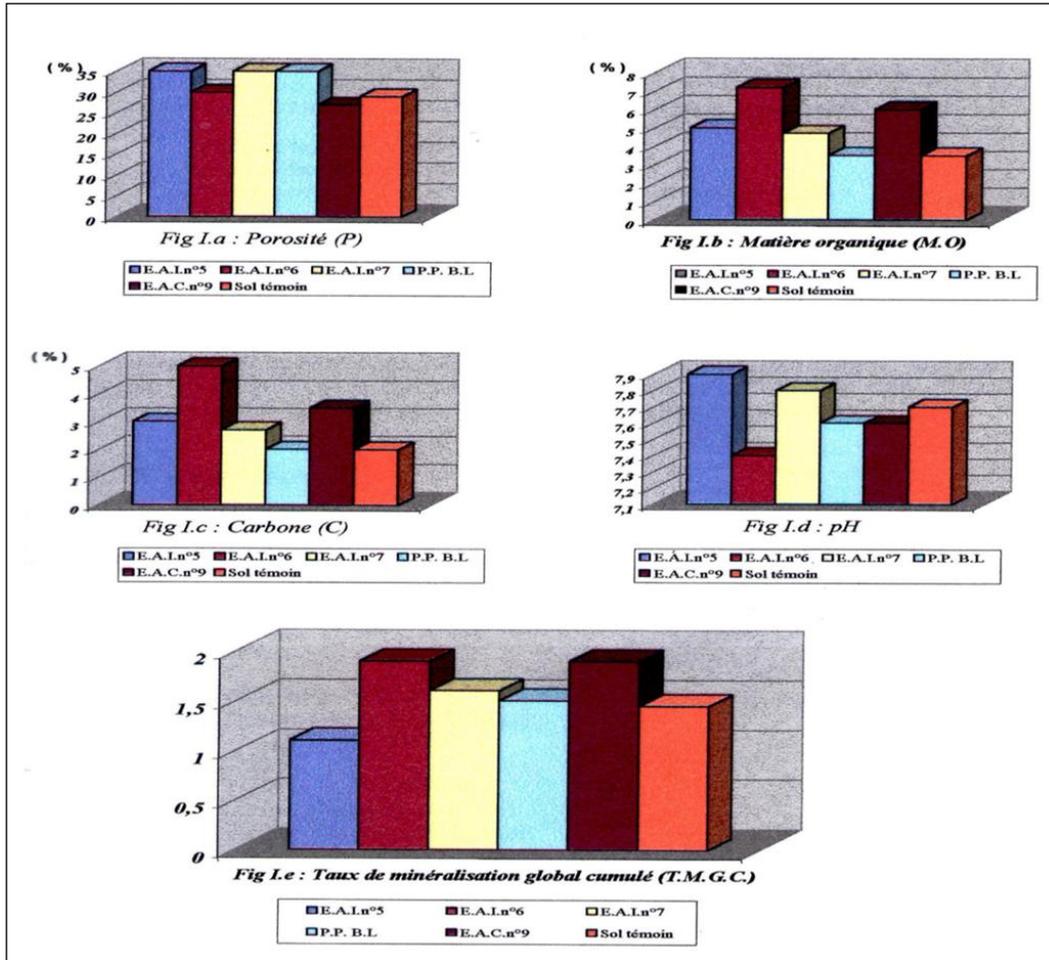


Figure 4 - Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des profils culturaux

2 - Concentrations des hydrocarbures dans les profils culturaux

Le dosage des produits pétroliers dans les sols est délicat à réaliser non seulement à cause de leur évaporation et de leur dégradation chimique et bactérienne mais en plus à cause de leur migration à des distances plus ou moins importantes dans les sols (Fadel., 2015b). L'approche analytique sur les concentrations des produits pétroliers dans les différents profils culturaux a été conduite en même temps et très rapidement. Afin de limiter le temps de stockage qui aurait favorisé d'autres pertes des hydrocarbures par évaporation et par dégradation biochimique, nous avons effectué les extractions aussitôt après le prélèvement des échantillons de sol. Pour mieux comparer globalement les concentrations d'hydrocarbures dans les différents profils culturaux (profils contaminés et le témoin profil non contaminé) que nous avons jugés utile de les préserver ensemble dans le tableau 3.

Tableau 3 - Concentration du pétrole brut dans les différents profils culturaux

Désignation	Concentrations du pétrole brut (ppm)		
	Horizon 1 00 – 10 (cm)	Horizon 2 10 – 30 (cm)	Horizon 3 > 30 (cm)
Profil culturel I Exploitation agricole individualisée (E.A.I N°5)	2000	3760	-
Profil culturel II Exploitation agricole individualisée (E.A.I N°6)	2400	9920	10400
Profil culturel III Exploitation agricole individualisée (E.A.I N°7)	320	1360	-
Profil culturel IV Propriété agricole privée (P.P)	3020	4480	-
Terre fraîchement labourée de la propriété agricole privée (P.P)	5200	-	-
Profil culturel V Exploitation agricole collective (E.A.C N°9)	3200	5600	-
Sol témoin	75	84	85
Terre déblais réalisée par la société nationale des travaux d'hydrocarbures (SONATRACH)	-	-	7520

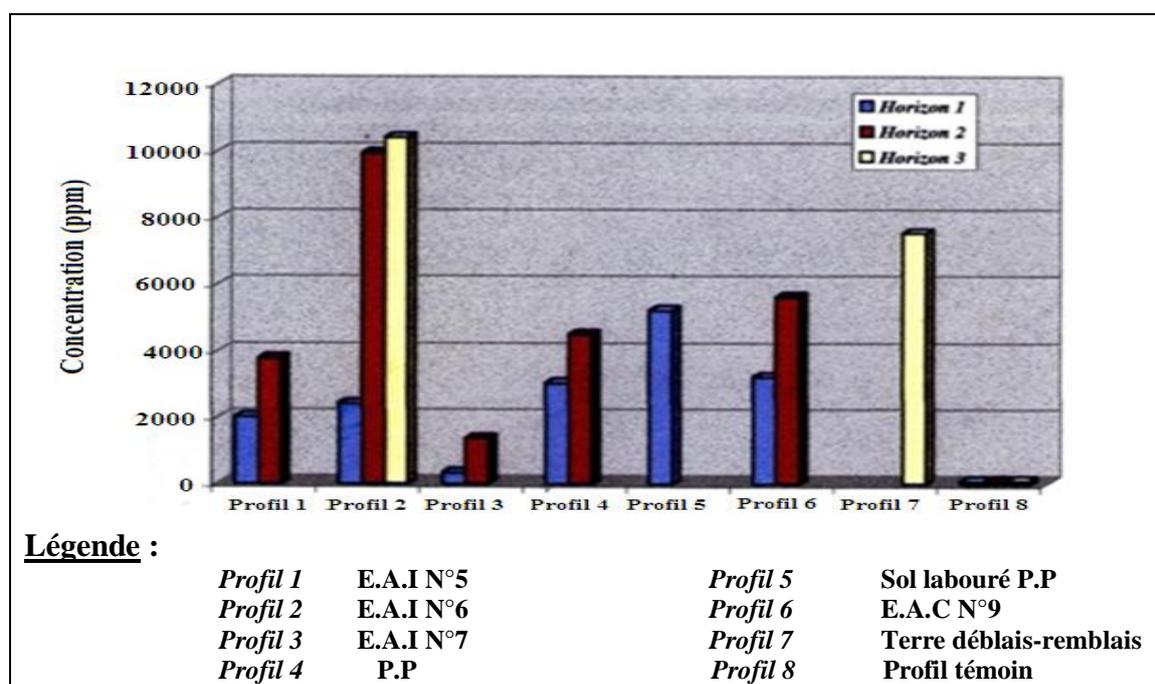
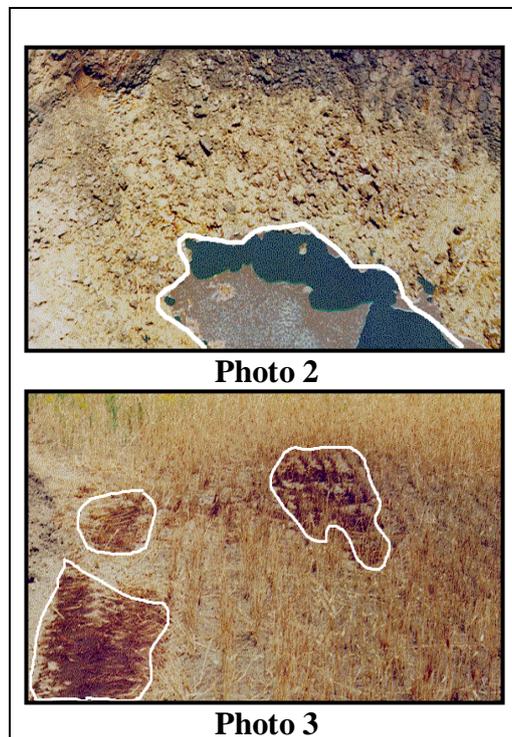


Figure 5 - Concentrations des hydrocarbures (pétrole brut) dans les différents profils culturaux

L'histogramme des concentrations des hydrocarbures (Fig. 5), établi selon les données analytiques des échantillons de sol prélevés dans la zone d'étude, nous suggèrent les interprétations suivantes :

- les profils culturaux contaminés par le pétrole brut (p_1 ; p_2 ; p_3 ; p_4 ; p_5 ; p_6 ; p_7) ont des concentrations supérieures à celui du témoin ;
- globalement les exploitations représentées par l'E.A.I. N° 6 (p_2), l'E.A.C. N° 9 (p_6) et la propriété privée (p_4 et p_5) recèlent de manière croissante les concentrations en hydrocarbures. Ceci s'explique très probablement par la situation topographique de ces parcelles photos 2 et 3.



Photos 2 et 3 – Emergence du pétrole brut dans les exploitations agricoles

En effet, ces dernières qui possèdent des pentes comprises entre 0 et 5% peuvent favoriser l'accumulation des produits pétroliers lors de leur remontés par les nappes phréatiques. Le sens d'inclinaison de ces pentes à contribuer de façon notable à la concentration des hydrocarbures dans les exploitations suscitées (Fig. 3).

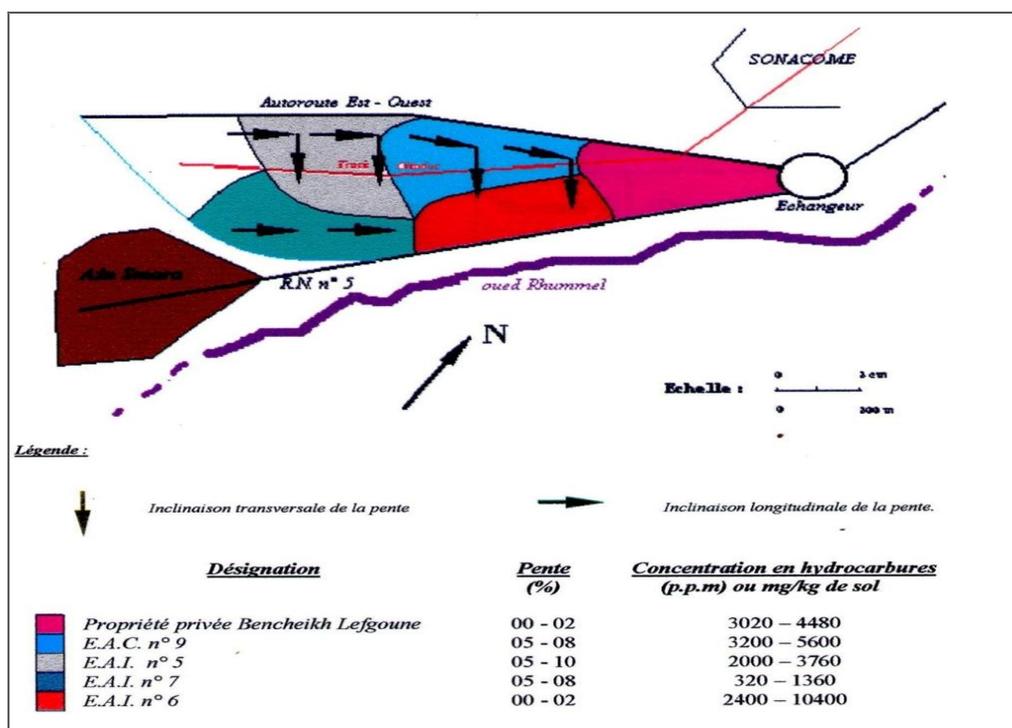


Figure 6 - Répartition spatiale des concentrations du pétrole brut en fonction du pendage

V - CONCLUSION

L'analyse quantitative des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des profils culturaux du périmètre d'étude, révèle une relative homogénéité des résultats des différents paramètres des sols contaminés par le pétrole brut et ceux du sol témoin ou de référence. Cette constatation nous permet de déduire qu'il s'agit d'un même type de sol. En effet, il s'agit d'un sol brun calcique selon la classification française. Il présente une forte cohésion, collant à l'état mouillé et très dur à l'état sec. C'est un sol lourd, très difficile à travailler. Ses propriétés physiques sont défavorables : une faible porosité qui se traduit par une faible perméabilité à l'eau et à l'air ayant pour conséquence une faible activité biologique d'où une évolution lente de la matière organique. Ce type de sol possède une grande capacité de rétention en eau inassimilable par les plantes d'où la nécessité de le drainer. Il possède des croûtes de battance qui atteste une mauvaise stabilité en surface.

Selon les résultats expérimentaux obtenus, nous pensons de façon soutenue que le taux de contamination des profils culturaux par le pétrole brut est trop faible pour constituer une catastrophe écologique. Ceux sont surtout les horizons profonds qui ont accumulé le plus d'hydrocarbures. Le pétrole brut qui surnage les eaux des nappes phréatiques est souvent en contact avec les horizons profonds, le deuxième mais surtout le troisième horizon. Ces derniers sont moins exposés à l'air par conséquent il y a peu d'évaporation des hydrocarbures plus particulièrement les plus volatils ayant un nombre de carbone inférieur à 14 (Dallemand., 1975). A notre connaissance, aucune norme admissible relative à la pollution des sols par les hydrocarbures n'est citée dans la littérature. Par contre il est bien établi que les sols par non pollués peuvent contenir jusqu'à 100 mg/kg de sol d'hydrocarbures d'origine naturelles (Saliot., 1975 ; Bordjiba., 2002). Cette concentration naturelle peut devenir plus importante dans les sols qui possèdent un couvert végétal libérant les terpènes. C'est pour cette raison qu'il faut être prudent dans l'interprétation des résultats. Il ne faut pas oublier que l'étude entreprise vise à déterminer à court terme, les effets des produits pétroliers sur les sols et les cultures.

Références bibliographiques

Arrouays, S. ; Baize, D. ; Bonneau, M. ; Chaussod, R. ; Cieselski, H. ; Gaultier, J.P. ; King, D. ; Lavelle, P. ; Legros, J.P. ; Leprêtre, A.; Sterckeman, T. 1999. Observatoire de la qualité des sols. Rapport sur les travaux. INRA Orléans, Documentation de centre, 54 p.

Bordjiba, I. 2002. Etude au laboratoire de l'évolution du pétrole brut dans trois types de sols. Mémoire d'ingénieur en Ecologie & Environnement, Université de Annaba, 36 p.

Breure, A.2004. Ecological soil monitoring and quality assessment; Developments in Soil Science Volume 29, p. 281 - 305.

Dallemand, E. 1975. Le pétrole brut, Que sais-je, éd. Presse universitaire de France.

Délégation de l'agriculture d'Aïn Smara. 2004. Rapport annuel des surfaces agricoles d'Aïn Smara, 30 p.

Fadel, D., 2015a. Technical report, Part 1: Qualitative study Pollution by crude oil an agro-ecosystem in the region of Constantine. ResearchGate, 29 p.

Fadel, D., 2015b. Technical report, Part 2: Quantitative study Pollution by crude oil an agro-ecosystem in the region of Constantine. ResearchGate, 26 p.

Inspection de l'environnement, 1994. Monographie et environnement de la wilaya de Constantine, 186 p.

Kaouritchev, I. 1983. Manuel pratique de pédologie, ed. MC. GRAWHILL, 397 p

Sarl Landscape Architecture.1998. Rapport sur la pollution par les hydrocarbures et leurs effets sur les sols et les cultures dans la commune d'Aïn Smara, 55 p.

Saliot, A.1975. Natural hydrocarbons in sea water and sediments. URSMAE, pp. 28 - 42

Soltane, M.; Fadel, D & Slimani. 2007. In vitro study of mineralization in a market gardening ground of photodegradable film of polyethylene mulching: case of ende plast. *Physical & Chemical News*; Vol. 35 Mai 2007; p. 133-137.