
Revue des sciences de l'eau

Phytoremédiation de sols pollués par les hydrocarbures – évaluation des potentialités de six espèces végétales tropicales

Pulchérie Matsodoum Nguemté, Guy Valérie Djumyom Wafo, Pierre François Djougoue, Ives Magloire Kengne Noumsi et Adrien Wanko Ngnien

Volume 30, numéro 1, 2017

URI : id.erudit.org/iderudit/1040058ar
<https://doi.org/10.7202/1040058ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN 0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Nguemté, P., Wafo, G., Djougoue, P., Kengne Noumsi, I. & Wanko Ngnien, A. (2017). Phytoremédiation de sols pollués par les hydrocarbures – évaluation des potentialités de six espèces végétales tropicales. *Revue des sciences de l'eau*, 30(1), 13–19. <https://doi.org/10.7202/1040058ar>

Résumé de l'article

Les écoulements et les transferts de matières à travers les sols et sous-sols sont des processus qui impactent les ressources en eau. Ainsi, la restauration des milieux dégradés participe à la préservation de la qualité de la ressource. Afin de contribuer à la décontamination des sols pollués par phytoremédiation - technique de dépollution basée sur l'action des plantes en association avec les micro-organismes du sol - des inventaires floristiques de sites potentiellement pollués et non pollués (témoins) par les hydrocarbures ont été réalisés dans quatre villes du Cameroun. Sur la base d'indicateurs floristiques, six espèces ont été sélectionnées, et leurs capacités phytoremédiatrices testées dans un sol pollué par du fioul à 82,5 mL.kg⁻¹ de sol pendant 150 jours en présence de trois modalités : Tn - sols non pollués plantés (6), To - sols pollués non plantés (3) et Tp - sols pollués plantés (18). La biodiversité des sites pollués (106 espèces, 76 genres et 30 familles) est moins élevée que celle des témoins (166 espèces, 125 genres et 50 familles). Les espèces les plus fréquentes (Fri > 10 %) et abondantes (7 % < A < 10 %) sur les sites potentiellement pollués sont dominées par 15 espèces tropicales; parmi lesquelles, *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC†, *Commelinpa benghalensis* L., *Cleome ciliata* Schum. et Thonn., et *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson, sont utilisées dans des essais de phytoremédiation des sols contaminés au fioul domestique. Seules trois de ces espèces, notamment *E. indica*, *C. dactylon* et *A. sessilis* ont pu survivre et se développer. Contrairement à *A. sessilis*, *E. indica* et *C. dactylon* ne présentent pas de différence significative pour les paramètres de croissance considérés entre les modalités Tn et Tp. Les espèces *E. indica* et *C. dactylon* seraient donc plus tolérantes au fioul domestique que l'espèce *A. sessilis*.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 2017 Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne. [<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>]

Érudit

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. www.erudit.org

PHYTOREMÉDIATION DE SOLS POLLUÉS PAR LES HYDROCARBURES – ÉVALUATION DES POTENTIALITÉS DE SIX ESPÈCES VÉGÉTALES TROPICALES

Phytoremediation of hydrocarbon-polluted soils – Assessment of the potentialities of six tropical plant species

PULCHÉRIE MATSODOUM NGUEMTE^{1, 2*}, GUY VALÉRIE DJUMYOM WAFO¹, PIERRE FRANÇOIS DJOCCOUE¹, IVES MAGLOIRE
KENGNE NOUMSI¹, ADRIEN WANKO NGNIEN²

¹Université de Yaoundé 1, Laboratoire de biotechnologie et environnement, Département de Biologie et Physiologie Végétale,
BP 812, Yaoundé, Cameroun

²Université de Strasbourg, Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie, Département de
Mécanique, 2, rue Boussingault, 67000 Strasbourg, France

Reçu le 5 octobre 2016, accepté le 25 janvier 2017

RÉSUMÉ

Les écoulements et les transferts de matières à travers les sols et sous-sols sont des processus qui impactent les ressources en eau. Ainsi, la restauration des milieux dégradés participe à la préservation de la qualité de la ressource. Afin de contribuer à la décontamination des sols pollués par phytoremédiation - technique de dépollution basée sur l'action des plantes en association avec les micro-organismes du sol - des inventaires floristiques de sites potentiellement pollués et non pollués (témoins) par les hydrocarbures ont été réalisés dans quatre villes du Cameroun. Sur la base d'indicateurs floristiques, six espèces ont été sélectionnées, et leurs capacités phytoremédiatrices testées dans un sol pollué par du fioul à 82,5 mL.kg⁻¹ de sol pendant 150 jours en présence de trois modalités : Tn - sols non pollués plantés (6), To - sols pollués non plantés (3) et Tp - sols pollués plantés (18). La biodiversité des sites pollués (106 espèces, 76 genres et 30 familles) est moins élevée que

celle des témoins (166 espèces, 125 genres et 50 familles). Les espèces les plus fréquentes ($Fr_i > 10\%$) et abondantes ($7\% < A < 10\%$) sur les sites potentiellement pollués sont dominées par 15 espèces tropicales; parmi lesquelles, *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC†, *Commelinpa benghalensis* L., *Cleome ciliata* Schum. et Thonn., et *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson, sont utilisées dans des essais de phytoremédiation des sols contaminés au fioul domestique. Seules trois de ces espèces, notamment *E. indica*, *C. dactylon* et *A. sessilis* ont pu survivre et se développer. Contrairement à *A. sessilis*, *E. indica* et *C. dactylon* ne présentent pas de différence significative pour les paramètres de croissance considérés entre les modalités Tn et Tp. Les espèces *E. indica* et *C. dactylon* seraient donc plus tolérantes au fioul domestique que l'espèce *A. sessilis*.

Mots-clés : *Fioul domestique, hydrocarbures, indicateurs floristiques, phytoremédiation, espèces tropicales.*

ABSTRACT

Flows and transfers of materials through soils and subsoils are processes that impact water resources. Thus the restoration of degraded areas contributes to the preservation of the quality of the resource. In order to contribute to the decontamination of polluted soil, phytoremediation (a clean-up technique based on the action of plants in association with soil microorganisms), floristic surveys of potentially polluted and unpolluted (control) sites by hydrocarbons were carried out in four cities of Cameroon. On the basis of floristic indicators, six species were selected and their phytoremediation capacities tested in a soil polluted by fuel oil at 82.5 mL.kg⁻¹ of soil for 150 d in the presence of three modalities: Tn - unpolluted soil planted (6), To - unplanted polluted soils (3) and Tp - polluted soil planted (18). The biodiversity of polluted sites (106 species, 76 genera and 30 families) was lower than the controls (166 species, 125 genera and 50 families). The most frequent species ($Fr_i > 10\%$) and most abundant ($7\% < A < 10\%$) on potentially polluted sites were dominated by 15 tropical species; among these, *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC†, *Commelinpa benghalensis* L., *Cleome ciliata* Schum. & Thonn. and *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson were used in phytoremediation trials on soil polluted with domestic oil. Only three of these species, including *E. indica*, *C. dactylon* and *A. sessilis*, were able to survive and develop. Unlike *A. sessilis*, *E. indica* and *C. dactylon* showed no significant difference for the growth parameters considered between the Tn and Tp modalities. *E. indica* and *C. dactylon* are therefore more tolerant to domestic oil than *A. sessilis*.

Key Words: Domestic oil, hydrocarbons, floristic indicators, phytoremediation, tropical species.

1. INTRODUCTION

Plusieurs références de la littérature caractérisent les plantes d'outil efficient pour la remédiation des métaux lourds et polluants divers (PRASAD, 2005; FRANZLE, 2006; REMON, 2006). En effet, la phytoremédiation est une biotechnologie basée sur la coopération synergique des racines des plantes et des microorganismes du sol pour décomposer, transférer, désactiver et immobiliser les contaminants de l'environnement (AZADEH *et al.*, 2013; FATIMA *et al.*, 2016). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) contenus dans les produits pétroliers sont l'un des polluants organiques persistants (POP) les plus retrouvés dans l'environnement (OLESZCZUK et BARAN, 2005). La contamination des sols et des eaux souterraines par les HAP est une menace

environnementale émergente en raison des éventuels impacts toxiques sur différents récepteurs écologiques (MASAKORALA *et al.*, 2013).

Les HAP peuvent être adsorbés ou liés à plusieurs composants du sol tels que les argiles, les oxydes de fer, et la matière organique en particulier. L'adsorption compétitive entre les lipides végétaux et le carbone organique du sol résulte de la faible biodisponibilité des HAP pour les racines des plantes lorsque la teneur en matière organique du sol est plus élevée (BALASUBRAMANIAM, 2015). La biodisponibilité des HAP dans le sol est donc fonction du coefficient de partage octanol/eau (K_{ow}) qui exprime le partage d'un soluté entre l'eau et un solvant non miscible. Toutefois, sous l'effet des phénomènes naturels, des facteurs géophysiques et climatiques, un relargage de ces polluants peut survenir et ainsi entraîner la pollution plus ou moins importante des ressources en eau. Il convient donc pour une gestion durable de ces ressources, dans le contexte tropical, de mettre sur pied des solutions adaptées, relativement peu coûteuses et facilement exploitables. Même si la phytoremédiation répond favorablement à ces exigences, une sélection d'espèces végétales à haut potentiel de phytoremédiation s'avère nécessaire (PEREZ-HERNANDEZ *et al.*, 2013; BARUAH *et al.*, 2014). Le présent travail de recherche, orienté dans ce sens, est principalement axé sur l'étude des potentialités de six espèces végétales identifiées sur des sites potentiellement pollués par les hydrocarbures dans quatre villes du Cameroun, pays de l'Afrique équatoriale.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Analyses de la diversité des sites pollués par les hydrocarbures au Cameroun

L'étendue géographique de la zone d'étude concerne quatre villes au Cameroun : Yaoundé (3°52'N et 11°31'E, 750 m d'altitude), Kribi (2°57'N et 9°55'E, 18 m d'altitude), Limbé (4°00'N et 9°13'E, 69 m d'altitude) et Douala (4°03'N et 9°52'E, 13 m d'altitude). Au total 26 sites ont été étudiés avec autant de sites pollués et non pollués. Pour chaque site, des relevés floristiques de 6 x 6 m ont été délimités sur une surface et cinq quadrats de 1 x 1 m y ont été réalisés. L'étude a été menée du 21 janvier au 12 février 2015 (saison sèche).

La diversité floristique et spécifique des sites a été évaluée à travers la fréquence relative (Fr_i), l'abondance relative (A), la richesse spécifique et l'indice de diversité de Shannon (H') :

- la fréquence relative (Fr_i) permet d'avoir le taux de présence d'une espèce dans un site (GILLET, 2000). Elle a été calculée comme suit :

$$Fr_i = \frac{Fa}{nr} \times 100 \quad (1)$$

où Fr_i est la fréquence relative de l'espèce i ; Fa la fréquence absolue de l'espèce i ; nr le nombre total de relevés floristiques. La fréquence absolue Fa est le nombre de relevés dans lesquels l'espèce i est présente.

- l'abondance relative (A) d'une espèce donnée dans un tableau d'association se calcule en transformant chaque abondance-dominance en pourcentage de recouvrement moyen R , divisée par le nombre de relevés (nr) suivant l'équation ci-dessous (MEDDOUR, 2011) :

$$A = \frac{\sum R \times 100}{nr} \quad (2)$$

- l'équation de l'indice de diversité de Shannon (H') est :

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log P_i \quad (3)$$

où S est le nombre total d'espèces et P_i la proportion d'individu de l'espèce i sur le nombre total d'individus.

2.2. Caractéristiques physicochimiques des sols pollués

Le sol utilisé est de texture sablolimoneuse (81,06 % de sable; 11,25 % de limon et 3,96 % d'argile), fertile (P et N \cong $1,5 \cdot 10^3$ mg.kg⁻¹ matière sèche) et de capacité d'échange cationique moyenne (8,8 méq.100 g⁻¹ de sol). Son indice d'hydrocarbure (C10-C40) est de 31 100 ppm. Les 16 HAP (63,55 ppm) classés prioritaires par l'Environmental Protection Agency (États-Unis) y sont présents, le naphthalène étant plus abondant (27 ppm), suivi du phénanthrène (14 ppm) et du fluorène (7,9 ppm) (Tableau 1).

2.3. Développement des espèces végétales sur sols contaminés au fioul domestique

Le développement des espèces végétales sur sols contaminés au fioul a été conduit d'avril à septembre 2016 en condition ambiante dans l'enceinte du laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube) situé dans la ville de Strasbourg (48°34'24,21"N; 7°45'8,47"E), France. Une station météo de marque WatchDog a servi à la prise des données climatiques sur le site.

Le dispositif expérimental pour chacune des espèces végétales utilisées se compose de trois modalités : xTn (sol non pollué planté); yTo (sol pollué non planté) et zTp (sol pollué planté). Vingt-sept pots de 4 L ($\varnothing = 0,20$ m; H = 0,15 m)

perforés à la base et disposés dans des soucoupes ont été remplis de 4 kg de sols; puis 21 de ces pots ont été pollués à 10 % (poids/poids) avec du fioul domestique; soit un volume équivalent à 330 mL (MERKL *et al.*, 2005; OSADOLOR et ANIMETU, 2013; NJOKU *et al.*, 2014).

Les plantules âgées de deux semaines à un mois et mesurant 2-6 cm en fonction de l'espèce végétale considérée (*Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC†, *Commelinpa benghalensis* L., *Cleome ciliata* Schum. et Thonn., et *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson), ont fait l'objet d'un suivi bimensuel des variations morphologiques (taille de la tige, nombre de feuilles, surface foliaire, densité), afin d'apprécier l'effet des hydrocarbures sur leur développement.

2.4. Analyse statistique

Le logiciel PAST V.3.0. a servi pour le calcul des indices de diversité spécifique et le test de Fisher du logiciel TANAGRA 1.4.50 aux analyses statistiques des données.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Diversité spécifique

La richesse spécifique (S) varie de 7,8 à 17,8 dans les sites pollués, et de 23,6 à 34,3 dans les sites témoins. Les valeurs de l'indice de Shannon (H') dans les sites pollués vont de 1,6 à 2,7 bits.ind⁻¹, tandis que dans les sites témoins ils sont entre 2,7 et 3,2 bits.ind⁻¹ (Figure 1a et 1b). Les tests de Fisher des différents sites d'étude montrent que les valeurs de S ($P[T \leq t] = 0,0039$; $|t| = 4,55$) et H' ($P[T \leq t] = 0,036$; $|t| = 2,69$) dans les sites pollués sont significativement plus faibles que dans les sites témoins. Ce résultat traduit la faible diversité spécifique des sites pollués par rapport aux sites témoins. Plusieurs auteurs affirment que dans un environnement soumis à des conditions difficiles, le nombre d'espèces attendu est faible. Mais malgré la faible diversité spécifique des sites pollués, les espèces végétales qui s'y développent se démarquent par leur fréquence d'apparition et leur abondance élevées. Elles peuvent donc être qualifiées de polluo-tolérantes (SCHWOERTZIG *et al.*, 2015).

3.2. Espèces végétales tropicales potentiellement phytoremédiatrices des hydrocarbures

Les sites pollués étudiés présentent 15 espèces végétales à coefficient d'abondance-dominance plus élevé (Tableau 2). En fonction de leurs fréquences et abondance, six d'entre elles

Tableau 1. Paramètres physicochimiques des sols pollués en début d'expérimentation.
Table 1. Physico-chemical parameters of the polluted soils at the beginning of the experiment.

Paramètres		Valeur à 0 jour
Paramètres physicochimiques	Matière organique (% matière sèche)	5,3
	pH H ₂ O	7,9
	Température (°C)	20
	Azote kjeldahl (TKN) (mg.kg ⁻¹)	1,5.10 ³
	Phosphore (mg.kg ⁻¹)	1,4.10 ³
	Humidité résiduelle (%)	15
	Capacité d'échange cationique (méq.100 g ⁻¹)	8,8
Hydrocarbures totaux (HCT) (mg.kg ⁻¹ matière sèche)	Indice hydrocarbures (C10-C40)	31 100
	HCT (nC10 - nC16)	11 100
	HCT (>nC16 - nC22)	15 700
	HCT (>nC22 - nC30)	4 020
	HCT (>nC30 - nC40)	185
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAP) (mg.kg ⁻¹ matière sèche)	Naphtalène	27
	Acénaphthylène	3,4
	Acénaphène	1,5
	Fluorène	7,9
	Phénanthrène	14
	Anthracène	3,7
	Fluoranthène	0,85
	Pyrène	2,4
	Benzo-(a)-anthracene	0,44
	Chrysène	0,61
	Benzo(b)fluoranthène	0,3
	Benzo(k)fluoranthène	0,31
	Benzo(a)pyrène	0,26
	Dibenzo(a,h)anthracène	0,29
	Benzo(ghi)Pérylène	0,29
	Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	0,3
Somme des HAP	63,55	

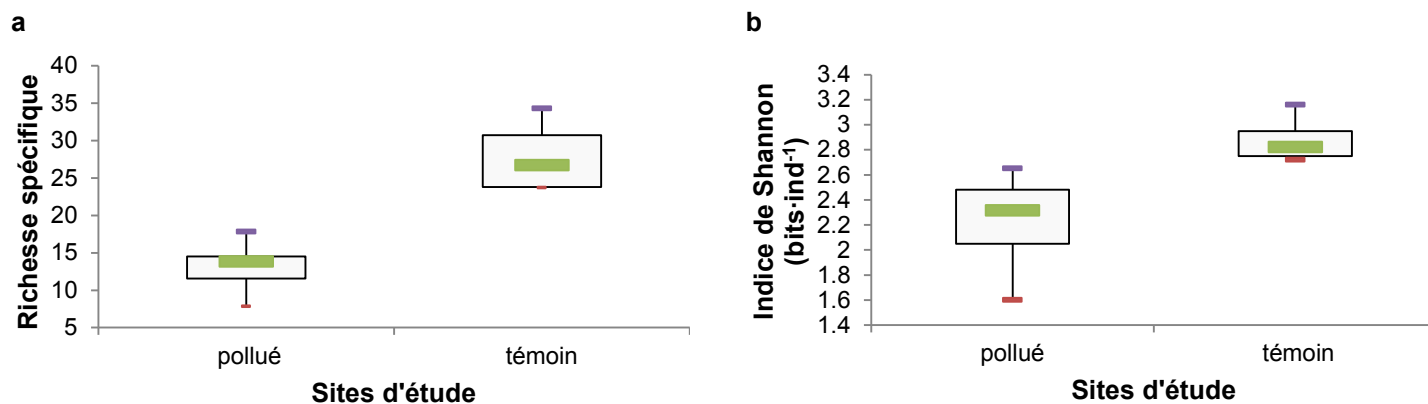


Figure 1. Variation de la richesse spécifique (a) et de l'indice de Shannon (b) dans les sites témoins et pollués des quatre villes étudiées (n = 13).
Change in species richness (a) and Shannon diversity index (b) in control and polluted sites for four cities surveyed (n = 13).

Tableau 2. Espèces végétales les plus fréquentes et les plus abondantes sur les sites pollués par les hydrocarbures de chaque ville.
Table 2. The most frequent and abundant plant species on hydrocarbon-polluted sites of each city.

Villes	Espèces générales majeures	Espèces potentielles majeures
Douala	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (Poaceae) <i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. Br. Ex DC†. (Amaranthaceae) <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. (Poaceae)	<i>Commelina benghalensis</i> L. (Commelinaceae) <i>Asystasia gangetica</i> (L.) T. Anderson (Acanthaceae)
Kribi	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (Poaceae) <i>Acroceras zizanioides</i> (Kunth) Dandy (Poaceae) <i>Commelina benghalensis</i> L. (Commelinaceae)	<i>Cleome ciliata</i> Schum. et Thonn. (Capparaceae) <i>Cyperus esculentus</i> L. (Cyperaceae) <i>Phyllanthus amarus</i> Schum. et Thonn. (Euphorbiaceae) <i>Axonopus compressus</i> (SW) P.Beauv. (Poaceae)
Limbé	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (Poaceae) <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. (Poaceae) <i>Commelina benghalensis</i> L. (Commelinaceae)	<i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaertn. (Asteraceae) <i>Vernonia cinerea</i> (L.) (Asteraceae) <i>Asystasia gangetica</i> (L.) T. Anderson (Acanthaceae) <i>Euphorbia hirta</i> L. (Euphorbiaceae) <i>Amaranthus spinosus</i> (L.) (Amaranthaceae) <i>Cleome ciliata</i> Schum. et Thonn. (Capparaceae) <i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. Br. Ex DC†. (Amaranthaceae)
Yaoundé	<i>Panicum maximum</i> Jacq. (Poaceae)	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (Poaceae) <i>Commelina benghalensis</i> L. (Commelinaceae)

ont été retenues comme espèces générales majeures (Fr_i et $A > 10\%$) et les autres espèces (9) comme potentielles majeures ($Fr_i > 10\%$ et $7\% < A < 10\%$). La famille des Poaceae à elle seule regroupe cinq espèces potentiellement phytoremédiatrices des hydrocarbures. Les familles des Amaranthaceae, Asteraceae et Euphorbiaceae possèdent deux espèces chacune; tandis que les familles des Commelinaceae, Cyperaceae, Capparaceae et Acanthaceae sont monospécifiques. Parmi les espèces de ces familles, quelques-unes ont montré des potentialités à dépolluer des sols. En effet, des études conduites au Nigéria avec plusieurs espèces de Poaceae, notamment *Panicum maximum*, *Eleusine indica* et *Axonopus compressus* montrent que ces espèces peuvent contribuer à l'élimination d'huiles et de pétrole brut à des pourcentages de l'ordre de 43 à 55 % (OGBO *et al.*, 2009; EFE et OKPALI, 2012; OYEDEJI *et al.*, 2013; NJOKU *et al.*, 2014). Les Poaceae sont en général considérées comme particulièrement exploitables pour la phytoremédiation des HAP, car elles possèdent un système racinaire fibreux, extensif et diversifié (MERKL *et al.*, 2005; OGBO *et al.*, 2009; NJOKU *et al.*, 2009). Ces caractères pourraient non seulement leur donner l'avantage d'être plus compétitives lors de la colonisation des milieux pollués, mais aussi favoriser l'activité microbienne, facteur le plus important dans les processus de dégradation des HAP (OGBO *et al.*, 2009; OYEDEJI *et al.*, 2013).

3.3. Variation morphologique des espèces végétales suite à une pollution aux HAP

Au bout de la 4^e semaine, aucun individu des espèces de *A. gangetica*, *C. ciliata* et *C. benghalensis* n'a survécu dans les

modèles Tp et Tn. Pour les plantes ayant survécu, notamment *E. indica*, *C. dactylon* et *A. sessilis* le débourrement a été effectif dès la 2^e semaine après semis, mais les différences significatives pour les paramètres morphométriques n'ont été perceptibles qu'à partir de la 8^e semaine. Les plantes de la modalité Tn présentent des caractères morphométriques significativement plus évolués que ceux de la modalité Tp.

De la mise en terre des bourgeons à la 6^e semaine, l'évolution de la taille des tiges de toutes les plantes est relativement faible. À partir de la 8^e semaine, les pots témoins de *A. sessilis* (AsTn) ont des tiges significativement plus grandes que les pots pollués (AsTp). Une évolution similaire est observée chez *E. indica*. Cependant, aucune différence significative n'est observée tout au long des expérimentations pour l'espèce *C. dactylon* (Figure 2). Contrairement à la taille des tiges, les différences pour le nombre de feuilles sont perceptibles dès la 4^e semaine (Figure 3). À partir de cette période, le nombre de feuilles dans les pots pollués de *A. sessilis* est significativement plus faible que dans les témoins jusqu'à la 18^e semaine où les tendances s'inversent.

Contrairement à *E. indica* et *C. dactylon*, *A. sessilis* présente une évolution très faible et tardive dans les pots pollués. Ceci serait le résultat d'une inhibition de croissance suite à la présence du fioul dans les sols. Les plantes n'ont évolué significativement que dix semaines après repiquage, probablement à cause de la réduction des polluants par l'action combinée de l'évaporation du lessivage et des microorganismes du sol.

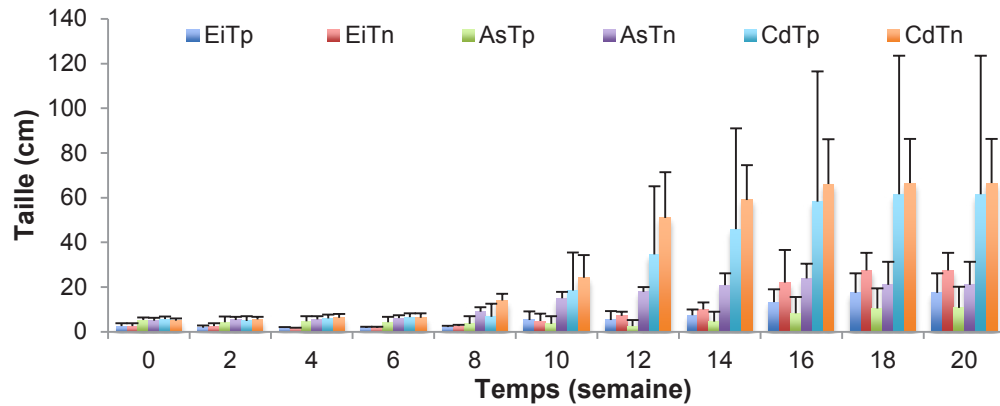


Figure 2. Évolution de la taille des tiges au cours du temps ($n = 3$).
Evolution of stem size over time ($n = 3$).

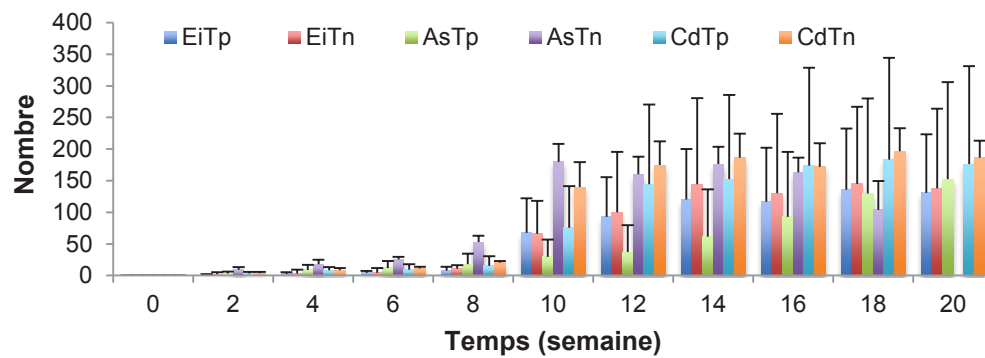


Figure 3. Évolution du nombre de feuilles au cours du temps dans les différents modèles ($n = 3$).
Evolution of the number of leaves over time in the different models ($n = 3$).

4. CONCLUSION

Au final, 106 espèces de plantes ont été répertoriées dans les sites potentiellement pollués étudiés dans les quatre villes du Cameroun. Elles appartiennent à 76 genres et 30 familles. Quinze de ces espèces végétales ont les coefficients d'abondance-dominance les plus élevés, avec six d'entre elles retenues comme espèces générales majeures (Fr_i et $A > 10\%$) et les autres espèces (9) comme potentielles majeures ($Fr_i > 10\%$ et $7\% < A < 10\%$). En présence de 330 mL de fioul domestique pour 4 kg de sol, seules trois (*E. indica*, *C. dactylon* et *A. sessilis*) des six espèces testées ont survécu et peuvent de ce fait être qualifiées de polluotolérantes. De ces trois espèces, deux appartiennent à la famille des Poaceae (*Eleusine indica* (L.) Gaertn. et *Cynodon dactylon* (L.) Pers.) et une espèce à la famille des Amaranthaceae (*Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC†). Les capacités phytoremédiatrices de ces espèces pourraient être évaluées dans des conditions de stress plus élevé par augmentation du degré de pollution hydrocarbonée.

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été financé par la fondation Schlumberger (Schlumberger Foundation Faculty for the Future).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZADEH V., P. EBRAHIM et H.M.B. MASOUD (2013). Phytoremediation, a method for treatment of petroleum hydrocarbon contaminated soils. *Intl. J. Farm. Alli. Sci.*, 2 (21), 909-913.
- BALASUBRAMANIAM A. (2015). The influence of plants in the remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated sites. *Pharm. Anal. Chem.*, 1 (1), 1-11.

- BARUAH P., R.R. SAIKIA, P.P. BARUAH et S. DEKA (2014). Effect of crude oil contamination on the chlorophyll content and morpho-anatomy of *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 21 (21), 12530-12538.
- EFE S.I. et A.E. OKPALI (2012). Management of petroleum impacted soil with phytoremediation and soil amendments in Ekpan Delta State, Nigeria. *J. Environ. Prot.*, 3, 386-393.
- FATIMA K., A. IMRAN, I. AMIN, I.M. KHAN et M. AFZAL (2016). Plant species affect colonization patterns and metabolic activity of associated endophytes during phytoremediation of crude oil-contaminated soil. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 23 (7), 6188-6196.
- FRANZLE O. (2006). Complex bioindication and environmental stress assessment. *Ecol. Indic.*, 6 (1), 114-136.
- GILLET F. (2000). *Guide méthodologique de la phytosociologie synusiale intégrée*. Documents de laboratoire d'écologie végétale. Université de Neuchâtel, 4^e édition revue et corrigée, 68 p.
- MASAKORALAK., J. YAO, H. GUON, R. CHANDANKERE, J. WANG, M. CAI, H. LIU et M.M.F. CHOI (2013). Phytotoxicity of long-term total petroleum hydrocarbon-contaminated soil - a comparative and combined approach. *Water Air Soil Poll.*, 224 (5), 1553-1-1553-12.
- MEDDOUR R. (2011). *La méthode phytosociologique sigmatiste ou braun-blanqueto-tuxenienne*. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Département des Sciences Agronomiques, Tizi Ouzou, Algérie, 40 p.
- MERKL N., S. KRAFT et C. INFANTE (2004). Phytoremediation of petroleum-contaminated soils in the tropics - assessment of the potential of plant species from eastern Venezuela. *J. Appl. Bot. Food Qual.*, 78 (3), 185-192.
- NJOKU K.L., M.O. AKINOLA et B.O. OBOH (2009). Phytoremediation of crude oil contaminated soil: the effect of growth of *Glycine max* on the physico-chemical and crude oil contents of soil. *Nature and Science*, 7 (10), 79-87.
- NJOKU K.L., M.O. AKINOLA, C.M. NKEMDILIM, P.M. IBRAHIM et A.S. OLATUNBOSUN (2014). Evaluation of the potentials of three grass plants to remediate crude oil polluted soil. *Curr. Adv. Environ. Sci.*, 2 (4), 131-137.
- OGBO E.M., M. ZIBIGHA et G. ODOGU (2009). The effect of crude oil on growth of the weed (*Paspalum scrobiculatum* L.) - phytoremediation potential of plant. *Afr. J. Env. Sci. Technol.*, 3 (9), 229-233.
- OLESZCZUK P. et S. BARAN (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons content in shoots and leaves of willow (*Salix viminalis*) cultivated on the sewage sludge-amended soil. *Water. Air. Soil Poll.*, 168, 91-111.
- OSADOLOR C.I. et S. ANIMETU (2013). Assessment of show star grass (*Melampodium paludosum*) for phytoremediation of motor oil contaminated soil. *Civil Environ. Res.*, 3 (3), 19-28.
- OYEDEJI S., O.I. RAIMI et I.A. ODIWE (2013). A comparative assessment of the crude oil-remediating potential of *Cynodon dactylon* and *Eleusine indica*. *Environ. Exp. Biol.*, 11, 145-150.
- PÉREZ-HERNÁNDEZ I., S. OCHOA-GAONA, R.H.A. SCHROEDER, M.C. RIVERA-CRUZ et V. GEISSEN (2013). Tolerance of four tropical tree species to heavy petroleum contamination. *Water. Air. Soil Poll.*, 224 (8), 1637-1-1637-13.
- PRASAD M.N.V. (2005). Nickelophilous plants and their significance in phytotechnologies. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17 (1), 113-128.
- REMON R. (2006). *Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution*. Thèse de doctorat, Univ. Jean Monnet, France, 157 p.
- SCHWOERTZIG E., N. POULIN, L. HARDION et M. TRÉMOLIÈRES (2015). Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban-rural gradient. *Ecol. Indic.*, 61, 568-576.