

## Etude de la contamination en éléments traces métalliques d'*Allium schoenoprasum* et de parcelles agricoles arrosées aux effluents non traités d'une zone industrielle

Massa Ismael BAMBA, Sorho SIAKA\* et Yaya SORO

*Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

\* Correspondance, courriel : [sorho.siaka@inphb.ci](mailto:sorho.siaka@inphb.ci)

### Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'usage, pour arrosage, d'eaux contenant des effluents non traités d'une zone industrielle sur les sols agricoles et *Allium schoenoprasum*. Ainsi, à l'issue de l'étude granulométrique et de la détermination des caractéristiques physico-chimiques des sols par des méthodes standardisées, les teneurs en éléments traces métalliques des sols et d'*Allium schoenoprasum* ont été déterminées par fluorescence aux rayons X. Il ressort que les sols agricoles sont de type sablonneux-sableux avec de faibles teneurs en matières organiques (0,54 à 1,23 %) elles-mêmes très minéralisées (C/N < 8). Ces sols sont faiblement acides ( $6,5 \leq \text{pH} \leq 6,9$ ) et leurs capacités d'échanges cationiques sont comprises entre 0,07 et 0,12 cmol/kg. Les sols et *A. schoenoprasum* contiennent du zinc, du nickel, du cadmium, du chrome, du plomb et du manganèse. Seules les teneurs en zinc (271,5 - 373,9 ppm), cadmium (1,2 - 2,3 ppm) et chrome (139,9 - 228,4 ppm) sont supérieures aux seuils maximaux des directives de l'union européenne pour les sols agricoles. En revanche, pour *A. schoenoprasum*, seules les teneurs en cadmium (0,9 - 2,5 ppm) sur tous les sites et en chrome sur les sites P2 et P3 (1,6 - 6,0 ppm) sont supérieures aux valeurs seuils recommandées par l'OMS pour les aliments. L'usage directe ou indirecte des effluents industriels, pour arrosage des maraichers, a un faible impact sur les sols mais expose le consommateur de *A. schoenoprasum* à un risque sanitaire.

**Mots-clés :** *sol, Allium schoenoprasum, éléments traces métalliques, fluorescence X.*

### Abstract

**Study of metal trace element contamination of *Allium schoenoprasum* and agricultural soils watered with untreated effluent from an industrial area**

The objective of this study is to assess the impact of the use, for irrigation, of water containing untreated effluents from an industrial zone on agricultural soils and *Allium schoenoprasum*. Thus, following the granulometric study and the determination of the physico-chemical characteristics of the soils by standardised methods, the contents of metallic trace elements in the soils and *Allium schoenoprasum* were determined by X-ray fluorescence. It appears that agricultural soils are sandy-sandy with low levels of organic matter (0.54 to 1.23 %), which are themselves highly mineralized (C/N < 8). These soils are weakly acidic

( $6.5 \leq \text{pH} \leq 6.9$ ) and their cation exchange capacities are between 0.07 and 0.12 cmol/kg. The soils and *A. schoenoprasum* contain zinc, nickel, cadmium, chromium, lead and manganese. Only the contents of zinc (271.5 - 373.9 ppm), cadmium (1.2 - 2.3 ppm) and chromium (139.9 - 228.4 ppm) are above the maximum thresholds of the EU directives for agricultural soils. On the other hand, for *A. schoenoprasum*, only the levels of cadmium (0.9 - 2.5 ppm) at all sites and chromium at P2 and P3 sites (1.6 - 6.0 ppm) are above the WHO recommended threshold values for food. The direct or indirect use of industrial effluents, for watering market gardeners, has a low impact on the soil but exposes the consumer of *A. schoenoprasum* to a health risk.

**Keywords :** *soil, Allium schoenoprasum, industrial effluents, metallic trace elements, X-ray fluorescence.*

## 1. Introduction

Ces dernières années, les villes des pays en développement et singulièrement africains se caractérisent par une rapide croissance des populations urbaines [1] essentiellement due à la dynamique démographique interne, à l'exode rural et à l'immigration sous-régionale [2]. Dans leur lutte de survie, ces nouvelles populations s'adonnent volontiers à des activités agricoles urbaines et périurbaines souvent pratiquées sur de petites parcelles [1]. Pour améliorer la productivité de leurs parcelles les agriculteurs ont recours à l'utilisation d'intrants chimiques et divers déchets urbains [3, 4]. En saison sèche, ils utilisent des eaux de diverses origines et qualités pour arroser leurs parcelles, car obligés d'assurer une productivité de leurs parcelles durant toute l'année. Or, dans la littérature il est fait mention que la non maîtrise de la qualité des eaux d'arrosage entraîne à la longue une pollution des sols, la salinisation des exploitations occasionnant la baisse des rendements de productions et quelques fois la contamination de certains produits agricoles en éléments traces métalliques (ETM) et en polluants divers [5]. Cependant, il semble que l'usage des effluents liquides industriels peut avoir divers effets sur les cultures et les sols. Ainsi, l'usage des effluents textiles non traitées a des effets négatifs sur la croissance et le rendement du blé, le sol et l'environnement [6]. A contrario, certains études soutiennent que l'usage d'effluents industriels autres que textiles est favorable à l'agriculture en raison de leur richesse en éléments nutritifs essentiels tels que le cuivre, le zinc, le fer et le manganèse [7].

Par ailleurs, il est établi que pour une meilleure gestion des pollutions des sols, la connaissance des caractéristiques des sols ainsi que la distribution des polluants cibles dans les différentes fractions du sol est indispensable [8]. De façon spécifique et en raison du caractère souvent toxique de certains ETM, il importe de prévoir ou de prédire leurs mobilités éventuelles vers les végétaux en vue d'assurer la sécurité alimentaire [9]. A cet effet, l'on a souvent recours à divers méthodes dont la spectrométrie d'absorption atomique et la spectrométrie d'émission atomique à couplage inductif [10]. Cependant, ces méthodes sont non seulement destructrices des échantillons mais aussi nécessitent des préparations complexes ainsi que l'utilisation de plusieurs réactifs. De façon singulière, la détermination des ETM par ces méthodes nécessite plusieurs étalonnages des équipements. La fluorescence aux rayons X semble être une alternative simple permettant de déterminer simultanément la présence et les teneurs de plusieurs éléments chimiques dans un échantillon solide et limite également l'utilisation de réactifs pour la préparation des échantillons [11, 12]. L'usage de cette nouvelle technique étant peu répandue, il nous a donc semblé intéressant de l'utiliser dans cette étude afin de pouvoir juger de la migration potentielle d'éléments traces métalliques des sols vers des cultures maraîchères. A Bouaké deuxième ville de Côte d'Ivoire, des acteurs agricoles conduisent plusieurs cultures maraîchères dans les environs d'une zone industrielle à dominance textile. Ces derniers ont recours à l'usage direct et indirect des effluents industriels de leur environnement immédiat pour l'arrosage de leurs parcelles. L'usage continue des effluents industriels sur des parcelles agricoles exploitées sans jachères ainsi

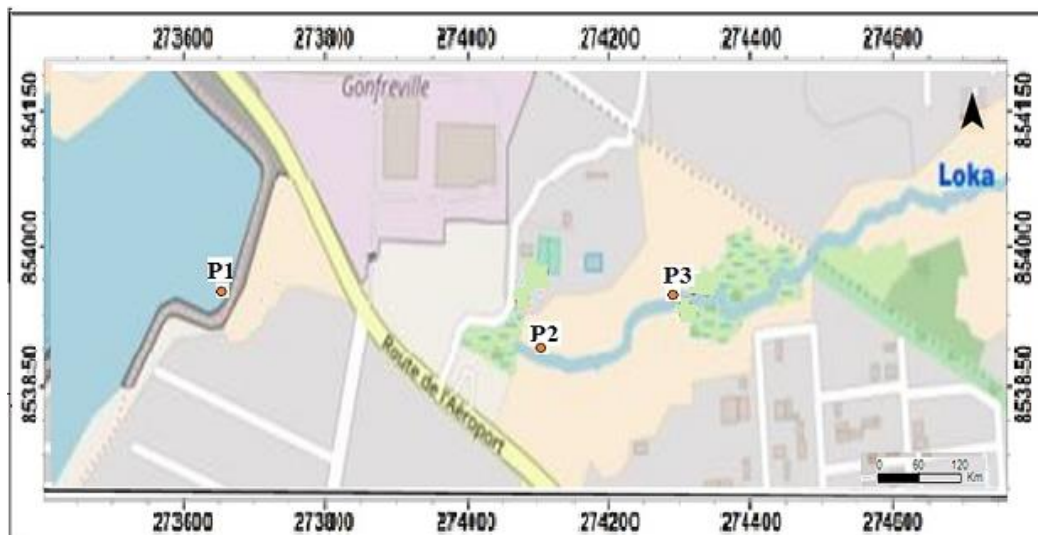
que la consommation généralement crue des produits de maraichage pose inéluctablement la question de leur innocuité chimique et de l'impact de l'usage des effluents industriels pour l'arrosage de ces cultures et notamment *Allium schoenoprasum*. Selon nos enquêtes, sa production est assurée par 63 % des agriculteurs de la zone d'étude en raison de son rôle palliatif au déficit de bulbes d'oignons sur le marché local. La présente étude est donc entreprise pour évaluer la composition minéralogique des sols et des plantes d'*Allium schoenoprasum* de sorte à juger de leur éventuelle contamination en ETM. Il s'agit de façon spécifique de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et géochimiques des sols de parcelles agricoles et d'évaluer par fluorescence aux rayons X les teneurs en éléments traces métalliques de ces sols et d'*Allium schoenoprasum*. Le potentiel impact d'un tel usage des effluents industriels non traités sur les sols et l'évaluation du risque sanitaire lié à la consommation d'*Allium schoenoprasum* seront estimés.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Matériel

#### 2-1-1. Zone de prélèvement

Bouaké, deuxième ville de Côte d'Ivoire, bénéficie d'un climat tropical humide comprenant deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses avec des sols ferrallitiques [13]. Les parcelles agricoles, objets de cette étude, sont situées au Nord-Ouest de la ville au quartier Gonfreville (*Figure 1*). Elles sont situées le long d'une petite rivière contiguë au point de rejet des effluents liquides sur une distance d'environ 2 km à partir du point de rejet.



**Figure 1** : Zone d'étude

Sur la *Figure 1*, les points de prélèvement sont matérialisés par site. Le site P1 comprend les parcelles témoins en bordure d'une retenue d'eau naturelle, situés en amont du déversoir des effluents, qui sert de réserve d'appoint pour le site industriel. Ces parcelles sont arrosées avec les eaux de cette retenue. Les sites P2 et P3, en aval du point de déversement des effluents industriels, abritent les parcelles arrosées avec les eaux du cours d'eau recevant directement les effluents industriels ou provenant de puits en bordure du court d'eau. Le *Tableau 1* présente les coordonnées GPS des différents sites.

**Tableau 1 : Localisation des points de prélèvement**

Sites	Points de prélèvement	Coordonnées GPS	
		Latitude (N)	Longitude (W)
P1	E1-E5	7°43'13,15''-7°43'13,50''	5°3'13,04''W-5°3'11,29''
P2	E6- E10	7°43'12,53''-7°43'12,83''	5°3'0,29''-5°2'57,63''
P3	E11- E15	7°43'15,08''-7°43'14,95''	5°2'42,14''- 5°2'49,21''

### **2-1-2. Echantillons de sols et d'*Allium schoenoprasum***

Les échantillons de sols et de *A. schoenoprasum* (oignon vert) ont été prélevés sur les trois sites P1, P2 et P3 en février 2018 en saison sèche en raison de l'utilisation quasi exclusive des effluents de la zone industrielle pour l'arrosage des maraichers.

## **2-2. Méthodes**

### **2-2-1. Echantillons de sols**

Sur chaque site, vingt-cinq (25) planches de 3 m de longueur et 1 m de largeur ont été choisies de façon aléatoire. A l'aide d'une pelle plantoir, trois prélèvements par planche à une profondeur de 30 cm ont été effectués dans le sens de la diagonale à raison d'un prélèvement au centre et de deux en périphérie. Les prélèvements de cinq planches sont mélangés puis un échantillon composite d'un kilogramme est formé pour les analyses. Cinq échantillons composites ont été ainsi formés par site et transportés au laboratoire dans des sachets en polyéthylène exempts de toute contamination. Au laboratoire, les échantillons ont été séchés à température ambiante (25-30 °C) pendant deux semaines par étalement sur la payasse protégée de toute contamination extérieure. Les échantillons secs ont été concassés selon la norme ISO 11464 (2006) et traités selon la méthode décrite par Tahar [14] puis les fractions fines tamisées à 200 µm sont collectées dans des bocaux en verre exempts de contamination. Ces échantillons ont servi pour la caractérisation physico-chimique et la détermination des éléments traces métallique des sols.

### **2-2-2. Echantillons d'*Allium schoenoprasum***

Les plantes entières de *A. Schoenoprasum* de cinq planches par site ont été récoltées et transportées séparément au laboratoire dans des sachets en plastique. Au laboratoire, les plantes d'*Allium Schoenoprasum* ont été lavées à l'eau de robinet pour les débarrasser des résidus de sols et mis à égoutter. Après deux heures d'égouttement, les plantes ont été découpées en tranches d'environ 1,5 cm puis séchées à l'étuve pendant une semaine à 60 °C. Les échantillons secs ont été broyés et tamisés à 200 µm à l'aide d'une broyeuse électrique de marque IKA M20. La conservation des échantillons d'*Allium schoenoprasum* s'est faite à température ambiante, dans des bocaux en plastique.

### **2-2-3. Caractérisations physico-chimique et géochimique des sols**

La granulométrie, le Potentiel Hydrogène (pH) (pH<sub>eau</sub> et pH<sub>KCl</sub>) et l'azote Kjeldahl ont été déterminés en utilisant les méthodes de [15]. La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée selon la norme NF 31-130. La matière organique a été quantifiée par perte au feu, conformément à la méthode du Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec [16]. La conductivité des sols a été déterminée selon la méthode

électrométrique du Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec [17]. L'acidité d'échange (Aech) correspondant à la différence entre le  $pH_{eau}$  et le  $pH_{KCl}$  a été calculée. L'évaluation des variances homogènes a été réalisée par le test de Neumann-Keuls en utilisant le logiciel libre R.

**2-2-4. Détermination des éléments traces métalliques dans les sols et *Allium schoenoprasum***

A l'aide d'un spectromètre de fluorescence de type SPECTRO X-LabPro, les éléments traces métalliques ont été déterminés selon la méthode modifiée de [8]. Ainsi, à l'aide du vibro-broyeur de type RETSCH MM200 quatre grammes d'échantillon et un gramme d'un agent liant (fluxana cereox) sont rigoureusement homogénéisés dans un pilulier. Une pastille de quatre cm de diamètre a été réalisée en pressant l'échantillon ainsi préparé avec une presse d'hydraulique de dix tonnes de type SPECAC ATALS. La pastille obtenue est soumise à analyse. Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de sa composition en éléments chimiques et l'on isole, par filtre spécifique, le spectre des éléments traces métalliques spécifiques.

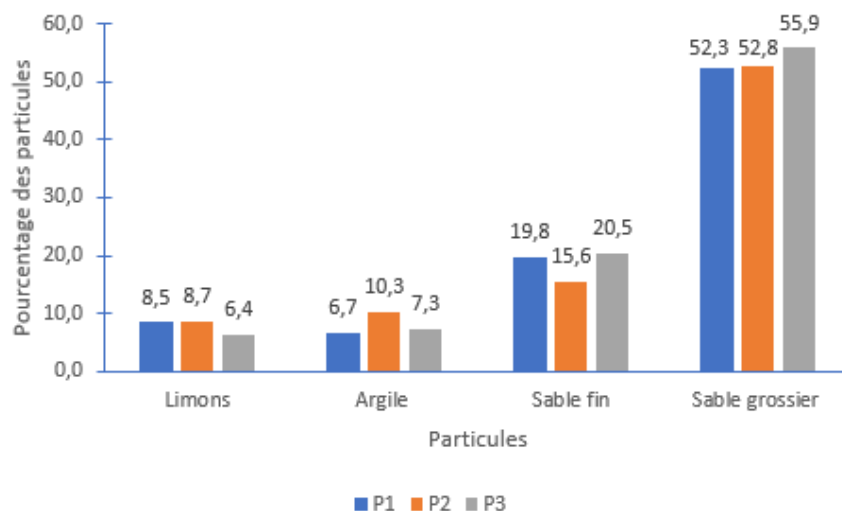
**3. Résultats et discussion**

**3-1. Caractéristiques physico-chimique et géochimique des sols**

En agriculture la granulométrie, la teneur en matière organique, la capacité d'échange cationique et le rapport C/N permettent d'apprécier les aptitudes des sols agricoles à la production végétale ainsi que les potentiels risques environnementaux liés aux pratiques agricoles. Ces paramètres clés ont fait l'objet d'une attention particulière dans cette étude.

**3-1-1. Texture des sols des sites d'études**

La texture d'un sol est la répartition granulométrique de ses constituants. Elle s'établit à travers la détermination des proportions entre les petites particules (les argiles), les particules de taille moyenne (les limons), et particules de grande taille (les sables) présentes dans le sol. En fonction de ces proportions les textures sont par la suite regroupées en classes : sol argileux, limono-sableux, etc. La **Figure 2** présente la distribution des particules des sols en fonction des sites de prélèvement.



**Figure 2 : granulométrie des sols étudiés**

De la **Figure 2** il ressort que les sols de tous les sites ont une granulométrie à dominance sableuse correspondant à 70 % de ses constituants. Les argiles et les limons ne représentent que respectivement 8,1 % et 7,9 % des constituants. De façon spécifique, et sur la base de la classification texturale USDA [18], les sols des sites P1 et P3 sont de types sablo-limoneux (72,1-76,4 % de sable ; 6,4-8,5 % de limon et 6,7-7,2 % d'argile), tandis que ceux du site P2 sont de texture limono-sableux (68,4 % de sable ; 8,7 % de limon et 10,3 % d'argile). Du fait de leur texture, les sols des trois sites ne sont pas propices à la conservation de l'eau, car ils contiennent principalement des éléments grossiers. Étant naturellement poreux ces sols sont également propices à l'enracinement facile des plantes. Par ailleurs, en zone tropicale, une telle granulométrie est propice à un transfert de chaleur important dans le sol ce qui favoriserait ainsi la minéralisation accrue de la matière organique [19].

### 3-1-2. Caractéristiques physico-chimiques

Le **Tableau 2** montre les paramètres physico-chimiques obtenus dans les échantillons de sols des trois sites.

**Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques des échantillons de sols des trois sites**

Paramètres	P1	P2	P3
pH eau	6,6 ± 0,3a	6,9 ± 0,4a	6,5 ± 0,2a
pH KCl	6,0 ± 0,4a	6,3 ± 0,8a	5,9 ± 0,7a
Aech	0,6 ± 0,3a	0,6 ± 0,5a	0,6 ± 0,5a
CEC (cmol/kg)	0,10 ± 0,06a	0,11 ± 0,05a	0,07 ± 0,02a
MO (%)	1,21 ± 0,17a	1,23 ± 0,12a	0,54 ± 0,05b
Azote (NTK) (g/kg)	0,13 ± 0,00a	0,10 ± 0,01a	0,05 ± 0,01b
C/N	5,56 ± 0,70a	6,99 ± 0,40a	6,52 ± 1,06a
CE (µS/cm)	665,99 ± 2,44a	521,96 ± 10,94b	755,13 ± 1,41c

Les moyennes suivies de la même lettre a ou b sont statistiquement identiques à 5 % ( $p < 0,05$ ). Sur l'ensemble des sols étudiés le  $pH_{eau}$  qui correspond à l'acidité effective d'un sol est compris entre 6,5 en P3 et 6,9 en P2. L'analyse de la variance de ces pH indique que le sol témoin P1 et les deux autres sols P2 et P3 ne sont pas significativement différents. Selon les classifications Américaine et Française rapportées dans les travaux de Djondo [20], les valeurs de  $pH_{eau}$  de ces sols sont légèrement acides ( $5,5 < pH \leq 7,0$ ) et convenables au développement des plantes. En effet, à ce type de pH la plupart des plantes se développent très bien et elles s'accroissent le plus souvent d'un écart de pH atteignant une unité [21]. Ainsi, malgré l'utilisation indirect de l'eau recevant des effluents industriels non traités et même quelques fois directement les effluents industriels dont les pH sont généralement basiques (pH 10), les sols arrosés avec ces effluents restent légèrement acides. Cela est certainement dû à l'extrême porosité des sols du fait de leur texture sablonneuse non propice à la rétention des eaux. Le  $pH_{KCl}$ , correspondant au pH limite des sols des parcelles, est compris entre 5,9 et 6,3. Ce pH permettant d'évaluer l'acidité favorable aux échanges entre sols et plantes (Aech) varie d'un site à l'autre sans différence significative : 5,9 pour le site P3 et 6,3 pour le site P2 contre 6,0 pour le site témoin. La valeur de l'acidité d'échange (Aech) qui en découle est de 0,6. Cette valeur indique que les sols des trois sites sont dotés d'une bonne capacité de rétention des cations dans le complexe argilo-humique. Cependant, la faible acidité des sols affecte la solubilité et l'assimilation des minéraux et des éléments traces métalliques par les plantes ainsi que la structure et l'activité des micro-organismes dans les

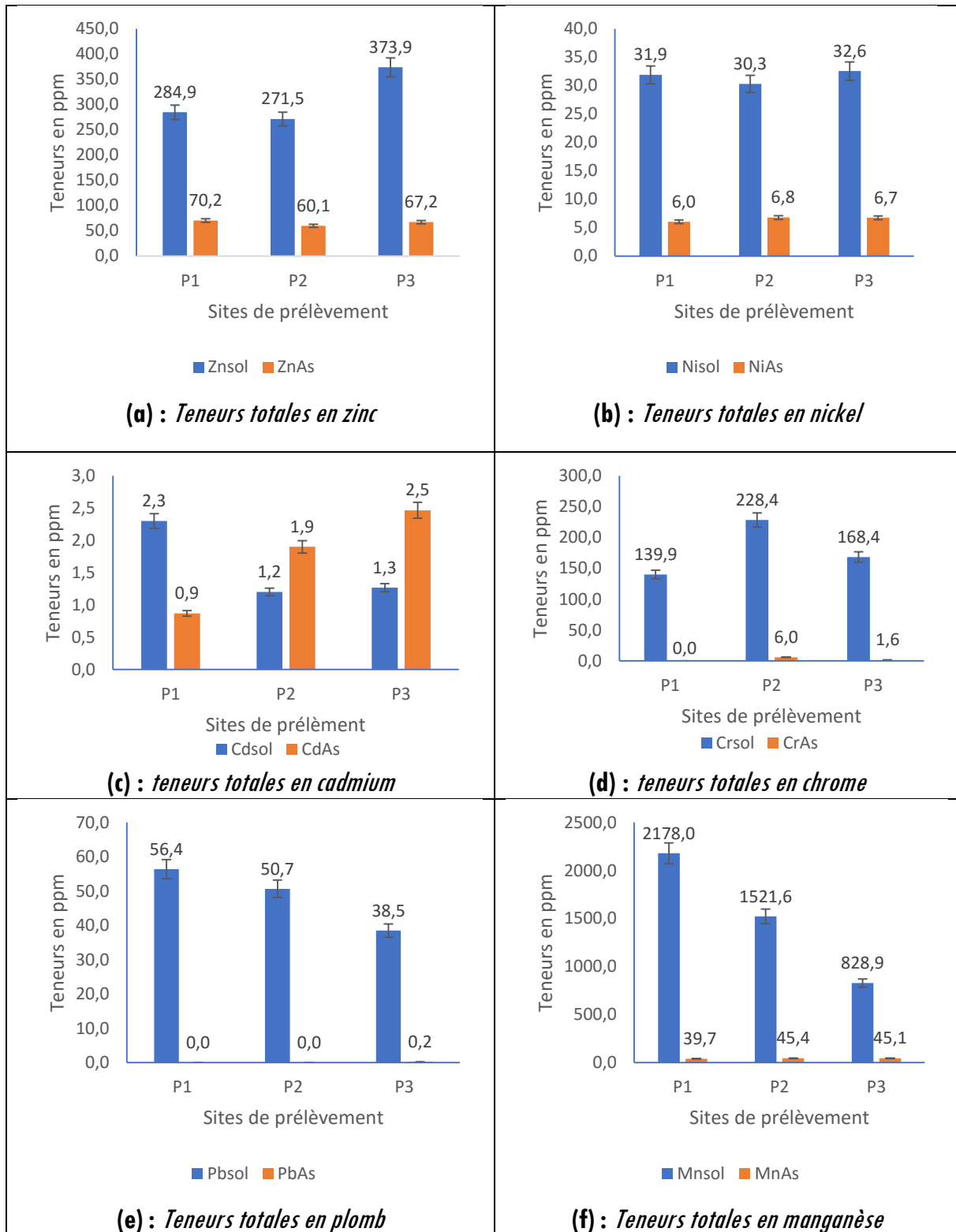
sols [22]. La capacité d'échange cationique (CEC) qui représente le pouvoir d'adsorption et d'échange des cations aux matériaux colloïdaux du sol est relativement faible et comprise entre 0,07 cmol/kg pour le site P3 et 0,11 cmol/kg pour le site P1. Ces résultats sont inférieurs à ceux des sols agricoles en zone forestière de la Côte d'Ivoire comprise entre 5,84 et 17,1 cmol/kg [23] et indicatifs des caractéristiques géochimiques des sols. Cependant, les cations adsorbés sur le complexe argilo-humique des sols étudiés demeureraient échangeables entre le sol et les plantes [22]. Les teneurs en matière organique des sols ( $0,54 \leq M.O. \leq 1,23$  %), sont relativement faibles mais restent dans la fourchette des teneurs en matière organique des sols tropicaux de savanes [21]. Ces faibles teneurs en matière organique influencent directement l'acidité d'échange (Aech) et pourraient s'expliquer soit par un amendement insuffisant en matière organique ou par une minéralisation accélérée de celle-ci. Les valeurs du rapport C/N, comprises entre 5 et 7, corroborent les résultats suggérant une minéralisation accrue de la matière organique et/ou des amendements insuffisants. Toutefois, ces valeurs inférieures à 8 peuvent aussi indiquer une surexploitation des sols et justifier ainsi le caractère intensif de l'agriculture urbaine et périurbaine [4]. Les sites étudiés présentent des conductivités électriques significativement différentes avec des valeurs comprises entre 521,96  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le site P2 et 755,13  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le site P3. La conductivité du site P3 est supérieure à la limite de 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au-delà de laquelle il y a salinité des sols [24]. Cette conductivité maximale sur le site P3 semble être la résultante d'un apport important de sels minéraux contenus dans les eaux résiduaires industriels souvent utilisées comme eaux d'arrosage sur ce site en saison sèche.

En effet, contrairement aux autres sites, les acteurs de ce site ont souvent recours direct aux effluents textiles pendant la saison sèche alors que sur le site P2 les acteurs utilisent des puisards. Ainsi, les parcelles du site P3 seraient prédisposées à de faibles productivités en relation avec le phénomène d'osmose inverse au niveau racinaires [5]. Le site P2 a une conductivité de 521,96  $\mu\text{S}/\text{cm}$  conséquence d'une granulométrie présentant une plus forte proportion en fraction fine capable de mieux complexer les sels des effluents industriels mais surtout conséquence de l'usage des eaux de puits en saison sèche. En effet, quoique très peu profonds (1 à 1,5 m), ces puits sont des sortes de captage d'eau pouvant provenir de l'infiltration des effluents textile car à même le lit de déversements des effluents ou de nappe d'eau souterraines très peu profondes. Les caractéristiques de ces eaux sont donc légèrement différentes de celle des effluents et des eaux de la rivière qui les reçoit [25]. Relativement à la conductivité des sols du site P1 qui est supérieure à celle du site P2, elle est la résultante de sa pauvreté en fraction argileuse comparativement au site P2 mais aussi à la forte salinité des eaux du barrage utilisées pour l'arrosage des parcelles de ce site. En effet, ce barrage n'est qu'un bassin de rétention des eaux pluviales soumis à l'influence permanente des variations de salinité des eaux de ruissellement retenues. Ce type d'ouvrage est réputé pour piéger divers polluants dans le sédiment et notamment une mobilisation de Pb, Cr et Cu en association avec la matière organique et les phases oxyhydroxydes métalliques du sédiment [26].

### 3-2. Etude comparative des teneurs en éléments traces métalliques des sols et de *A. schoenoprasum*

La **Figure 3** présente les teneurs en éléments traces métalliques obtenus dans les sols étudiés ainsi que dans les feuilles de *A. schoenoprasum*.





**Figure 3 :** Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols et les feuilles de *A. schoenoprasum*

De la **Figure 3** il ressort qu'à part le cas du cadmium, les teneurs en ETM des sols sont largement plus importantes que celles de *A. schoenoprasum*. Les teneurs en ETM sont fonction des sites et des métaux identifiés mettant ainsi en exergue la variation des pratiques agricoles sur les sites. Ainsi, dans les sols les teneurs en zinc varient entre 271,5 ppm (P2) et 373,9 ppm (P3). Ces teneurs sont supérieures à celles



rapportées sur les sols agricoles de Libreville au Gabon qui ont des teneurs comprises entre 20,7 à 170,5 mg/kg [4] et anormalement élevées par rapport aux recommandations de l'Union Européenne pour les sols agricoles (150 mg/kg) [27]. Relativement au cadmium ses teneurs dans les sols varient de 1,2 ppm (P2) à 2,3 ppm (P1) dépassant ainsi la valeur seuil (1 ppm) recommandée par l'Union européenne relatives aux sols agricoles [27]. La présence dans ces sols de quantités importantes de zinc et de cadmium est certainement liée à l'utilisation d'engrais chimiques notamment les engrais phosphatés (Fertichem, Frarimpex Leafdrip, Libro, Plantfeed etc) [28], ainsi que par divers rejets atmosphériques, potentielles sources d'apport de cadmium au niveau du sol. Le nickel dans les sols est compris entre 30,3 ppm (P1) et 32,6 ppm (P2). Ces valeurs sont inférieures à celles recommandées par les directives de l'Union européenne (75 ppm) [27]. Ces résultats pourraient être liés à une faible altération de la roche mère des sols étudiés et à l'absence de sources anthropiques de contamination. En revanche, le chrome dans les sols est compris entre 139,9 ppm (P1) et 228,4 ppm (P2). Ces teneurs sont largement supérieures à celle déterminée dans les sédiments de l'estuaire du Comoé en Côte d'Ivoire (35 ppm) [29]. Ces résultats témoignent d'un apport extérieur certainement lié à l'usage en continue des eaux d'arrosage contenant des effluents industriels sur les parcelles agricoles. En effet, certains colorants textiles contiennent du chrome qui pourrait être retenu dans les sols à l'issue de la dégradation des colorants [30]. Les teneurs en plomb des sols sont comprises entre 38,5 ppm (P3) et 56,4 ppm (P1). Ces valeurs sont relativement proches de la limite de 50 ppm recommandée par l'Union européenne pour les sols agricoles [27]. Dans la littérature, l'on s'accorde à des teneurs moyennes en plomb des sols naturels de l'ordre de 20 à 30 ppm avec une distribution en fonction des horizons du sol. Sur cette base, les teneurs en plomb des sols agricoles de cette étude sont en surcharge, probablement liées à un apport anthropique [27].

Dans les sols des trois sites, le manganèse est présent à des teneurs comprises entre 828,0 ppm (P3) et 2178,0 ppm (P1). Ces valeurs sont dans les limites des directives pour les sols agricoles de l'Union européenne [27]. Cependant, le site P1 abritant les sols témoins de cette étude a la plus grande teneur en manganèse. Cela indique l'absence d'apport extérieur lié à l'usage des eaux d'arrosage contenant des effluents industriels. De même, la faiblesse relative du manganèse dans les autres sols pourrait être en lien avec leur faible teneur en matières organiques qui sont de véritables complexant pour le manganèse. Au-delà des sols, la **Figure 3** présente aussi les teneurs en métaux lourds de *A. schoenoprasum*. On peut constater que les teneurs en zinc de *A. schoenoprasum* sont comprises entre 60,1 ppm (P2) et 70,2 ppm (P1). Or, la teneur moyenne en zinc nécessaire au métabolisme des plantes est comprise entre 15 et 30 ppm. Cela est certainement la résultante de la phytodisponibilité de ce métal dans les sols et surtout de son rôle d'oligo-éléments entrant dans les fonctions physiologiques de la plante. Ces valeurs, quoique importantes, restent en dessous de celles de 100 ppm représentant un risque de toxicité pour la plante [31]. En revanche, le plomb (0 à 0,2 ppm) est pratiquement absent de *A. schoenoprasum*. Le fait que seules les plantes d'*A. schoenoprasum* du site P3 contiennent du plomb avec une teneur de 0,2 ppm pourraient se justifier par le fait que le plomb soit un métal faiblement labile car fortement lié à certaines particules du sol tels que les colloïdes ainsi que divers oxydes et donc peu biodisponible [4]. La présence du plomb dans les plantes du site P3 malgré sa faible teneur dans le sol serait donc liée à la texture des sols de ce site caractérisée par une très faible teneur en fractions fines et en matières organiques. Les teneurs en nickel de *A. schoenoprasum* sont comprises entre 6,0 ppm (P1) et 6,8 ppm (P2) avec de faibles variations spatiales. Toutefois, elles restent supérieures aux teneurs en nickel (entre 2 et 4 ppm) nécessaires pour le bon fonctionnement des plantes [31]. Cependant, ce résultat reste conforme aux capacités des plantes du genre *Allium* à accumuler de fortes teneurs en éléments traces métalliques nécessaires à leur métabolisme. Par ailleurs, *A. schoenoprasum* a des teneurs en cadmium comprises entre 0,9 ppm (P1) et 2,5 ppm (P3) avec de fortes variations spatiales. Les plus grandes teneurs en cadmium s'observent dans les plantes provenant des sites P2 (1,9 ppm) et P3 (2,5 ppm). On constate que ces teneurs en cadmium sont toutes largement supérieures à la valeur seuil recommandée de 0,2 ppm [32].

Ainsi, l'ensemble des valeurs obtenues montrent que les plantes d'*A. schoenoprasum* représentent une menace très élevée pour le consommateur en raison du caractère toxique de ce métal pour les hommes [33]. Les teneurs en chrome de *A. schoenoprasum* sont comprises entre 0,0 ppm (P1) et 6,0 ppm (P2). Le site P1, arrosés par les eaux du barrage, ne contient pas de chrome alors que les teneurs en chrome des échantillons des sites P2 et P3, sont respectivement de 6 et de 1,57 ppm. Ces valeurs sont supérieures à celle requises par la norme de l'OMS qui est de 0,1 ppm [31]. L'importance des teneurs en chrome des échantillons des sites P2 et P3 serait due à l'usage des effluents industriels à dominance textiles, à la biodisponibilité de ce métal en relation avec le pH du milieu mais aussi aux capacités d'accumulation des éléments traces métalliques dans les tissus de *A. schoenoprasum* lors de sa culture sur sol ou de manière hydroponique [34]. Aussi, cette situation est certainement liée à la texture des sols, leur pauvreté en matières organiques, la faible CEC et surtout à la faible acidité favorisant ainsi le transfert du chrome du sol vers les plantes de *A. schoenoprasum*. Les teneurs en manganèse dans les plantes de *A. schoenoprasum* sont comprises entre 39,7 ppm (P1) et 45,4 ppm (P2). Ces valeurs sont largement au-dessus des quantités de manganèse nécessaire à la photosynthèse et à d'autres métabolismes des plantes qui sont comprises entre  $10^{-2}$  et  $2.10^{-2}$  ppm [31]. Cela suggère un effet accumulateur du manganèse par *A. schoenoprasum*. En effet, *A. schoenoprasum* est une plante tolérante aux grandes quantités d'éléments traces métalliques du fait de ses nombreux composés soufrés qui jouent un rôle de réducteurs et/ou de chélateurs pour prévenir l'effet toxique des métaux [35]. Contrairement à la teneur en manganèse des sols, la plante du site témoin P1 présente la plus faible teneur. Cela soutient le facteur de la faible biodisponibilité du manganèse du site P1 en raison de la teneur en matière organique du sol. La recherche de mercure dans cette étude se justifie par sa forte toxicité. L'étude a montré des teneurs nulles en mercure dans les sols et *A. schoenoprasum*. Ces résultats confirment qu'aucune source de mercure n'est présente dans la zone d'étude.

#### 4. Conclusion

Cette étude d'évaluation de l'impact de l'usage, aux fins d'arrosage de maraichers, d'eaux contenant des effluents liquides non traités d'une zone industrielle sur les sols agricoles et *Allium schoenoprasum* révèle un impact faiblement perceptible sur les sols. Cela est le résultat de la conjugaison de facteurs tels que les textures assez spécifiques de ces sols qui sont globalement de type sablonneux-sableux et les teneurs en matières organiques des sols qui restent faibles et enclin à une forte minéralisation malgré l'arrosage continue aux effluents industriels riches en matières organiques. Cependant, les sols recevant les eaux contenant les effluents industriels sont sujets à une forte salinité due à une accumulation d'importantes quantités de minéraux anthropiques. Ainsi, l'évaluation de composition en éléments traces métalliques des sols et de *A. schoenoprasum* par fluorescence X montre des teneurs globalement dépassant les limites supérieures admissibles dans les sols agricoles. Par contre, les plantes d'*Allium schoenoprasum* sont créditées de doses importantes de cadmium, manganèse et de zinc dépassant les limites recommandées pour les plantes. Mises à part les teneurs en cadmium qui ont dépassés les limites sanitaires selon l'OMS, toutes les autres teneurs en éléments traces métalliques, quoi que quelquefois supérieures aux besoins de la plante, sont en deçà des normes admises. Même si le mercure n'a été détecté dans aucun échantillon de sols et de feuilles de *A. schoenoprasum*, la consommation de *A. schoenoprasum* présente des risques sanitaires liés à sa teneur en cadmium. Enfin, malgré la dilution des effluents dans les eaux d'un cours d'eau, l'arrosage des sols agricoles avec ces eaux entraîne une salinité progressive mettant ainsi en péril l'usage à long terme de ces parcelles.

### **Remerciements**

*Les auteurs remercient le centre d'analyse et de recherche de la PETROCI à Abidjan qui a effectué les analyses de la fluorescence X.*

### **Références**

- [1] - L. TEMPLE and P. MOUSTIER, *Cahiers Agricultures*, Vol. 13, N°1 (2004) 015 - 022
- [2] - M. KANDA, H. M. BADJANA, F. FOLEGA, S. AKPAVI, K. WALA, J. IMBERNON and K. AKPAGANA, *Cahiers agricultures*, Vol. 26, N°1 (2017) 01 - 10
- [3] - A. DIOP, “ Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal),” Thèse, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque (2014) 241 p.
- [4] - J. A. ONDO, “Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques,” Thèse, Université de Provence, Marseille (2011) 324 p.
- [5] - T. RANDRIANANTOANDRO, R. RAKOTOBÉ, and H. RAZAFIMANDIMBY, *Afrique Science*, Vol. 10, N°4 (2014) 45 - 60
- [6] - A. HUSSAIN, A. MUSTAFA, and R. WAQAS, *Soil Science Society of Pakistan* Vol. 36, N°1 (2017) 28 - 34
- [7] - U. SETIF, H. ABDELHAKIM, AND K. SELMA, *Revue Agriculture*, Vol. 12 (2016) 40 - 46
- [8] - S. NAILI, A. N. MERZOUG, A. LAKEHAL, AND D. S. AHRAS, *Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution* (2016) 103 - 109
- [9] - S. GUPTA, V. JENA, S. JENA, N. DAVIC, N. MATIC, D. RADOJEVIC, J. S. SOLANKI, *Croatian Journal of Food Science and Technology*, Vol. 5, N°2 (2013) 53 - 60
- [10] - H. M. CHEN, C. R. ZHENG, C. TU and Z. G. SHEN, *Chemosphere*, Vol. 41, N°2 (2000) 229 - 234
- [11] - C. PARSONS, E. M. GRABULOSA, E. PILI, G. H. FLOOR, G. R. ROSS and L. CHARLET, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 262 (2013) 1213 - 1222
- [12] - A. A. MALIKI, A. K. A. LAMI, H. M. HUSSAIN, and N. A. ANSARI, *Environmental Earth Sciences*, vol. 76, N°12 (2017) 01 - 07
- [13] - D. SORO, S. BAKAYOKO, D. DAO, T. B. TRA, P. ANGUI et O. GIRARDIN, *Agronomie Africaine*, Vol. 23, N°3, (2011) 205 - 215
- [14] - K. TAHAR, “Étude de contamination, d'accumulation et de mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situés près d'une décharge industrielle de l'usine Alzinc de la ville de Ghazaouet,” Thèse, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, (2012) 282 p.
- [15] - J. ROUILLER, B. SOUCHIER, S. BRUCKERT, C. FELLER, F. TOUTAIN, J.C. VEDY., “ in *Pédologie : 2. Constituants et propriétés du sol*,” Ed. Bonneau, Paris, (1994) 612 - 652
- [16] - CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), *MA. 1010 - PAF 1.0* (2003) 9 p.
- [17] - CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), *MA. 115 - Cond. 1.1, rév. 1*, (2015) 01 - 09
- [18] - P. SCHAD, C. V. HUYSSTEEN, E. MICHELI, R. VARGAS, Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, (2014) 216 p.
- [19] - S. MOUNA, R. DEKHINAT, R. BENSÂÏD, Z. BENSID, and F. KOREIB, *Sciences et Technologie D*, N°31, (2010) 09 - 14
- [20] - M. Y. DJONDO, “Propriétés d'échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari et sableux du plateau de Mbe-Bateke au Congo : application à la correction de leur acidité”, Thèse, Université Paris-Est Créteil, Val de Marne, (1994) 259 p.

- [21] - J. J. M. MUHINDA, I. NZEYIMANA, C. BUCAGU and M. CULOT, *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, Vol. 13, N° 4 (2009) 545 - 558
- [22] - J. ESMAELZADEH and A. G. AHANGAR, *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, Vol. 4, N° 4 (2014) 244 - 252
- [23] - D. R. B. VOKO, S. L. A. NIAMKE and A. ZEZE, *Agronomie Africaine*, Vol. 25, N° 3 (2013) 251 - 264
- [24] - R. WARD. T. ATALLAH and T. DARWISH, *Cahiers Agricultures*, Vol. 9, N° 2 (2000) 135 - 139
- [25] - O. KONE, "Impact de l'effluent textile sur la qualité des ressources en eau utilisées pour l'arrosage des cultures maraîchères à Bouaké," Master, Université Lorougnon Guédé, Daloa, (2018) 71 p.
- [26] - P. TAYLOR, S. EGEMOSE, M. J. SØNDERUP, A. GRUDININA, A. S. HANSEN, and R. MOGENS, Vol. 36, N° 8 (2015) 959 - 969
- [27] - H. HUDCOVÁ, J. VYMAZAL, and M. ROZKOŠNÝ, *Soil and Water Research*, Vol. 14, N° 2 (2019) 104 - 120
- [28] - V. AZZI, "Les apports des métaux traces par les fertilisants chimiques phosphatés dans les sols libanais : investigation sur leur devenir et leur transfert", Thèse, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Toulouse, (2017) 265 p.
- [29] - K. N. KEUMEAN, S. B. BAMBA, G. SORO, N. SORO, B. SORO, and J. BIEMI, *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 61, (2013) 4530 - 4539
- [30] - H. BEN MANSOUR, O. BOUGHZALA, DORRA DRIDI, D. BARILLIER, L. CHEKIR-GHEDIRA, and R. MOSRATI, *Revue des sciences de l'eau*, Vol. 24, N° 3 (2012) 209 - 238
- [31] - G. PETER, J. and N. STEPHEN, *Soil conditions and plant growth*, Ed. John Wiley, New-York (2013)
- [32] - R. ADJIA, L. FEZEU, W. M. B. TCHATCHUENG, J. S. SORHO and B. NGASSOUM, M., *Iranica Journal of Energy and Environment*, Vol. 1, N° 2 (2010) 124 - 131
- [33] - S. ISSAKA, "Phytoextraction du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc par cinq espèces végétales (*Vetiveria nigriflora* (Benth.), *Oxytenanthera abyssinica* (A. Rich.) Munro, *Barleria repens* (Ness), *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf et *Lantana camara* Linn. Cultivées sur des sols ferrugineux tropicaux et vertiques," Thèse, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Bobo-Dioulasso, (2014) 189 p.
- [34] - S. EISAZADEH, S. A. KAPOURCHAL, M. HOMAEE and S. A. NOORHOSSEINI, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 26, (2019) 152 - 160
- [35] - A. GOLAN, G. BEN, B. JACOB, K. ALBERT, and B. SEDE "Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation", Ed. Sebastian Stefaniak, Zabrze (2006)