

Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal)

Mamadou Lamine Ndiaye, Hans-Rudolf Pfeifer, Seydou Niang, Y. Dieng, Mauro Tonolla et Raffaele Peduzzi

Volume 10, numéro 2, septembre 2010

L'agriculture urbaine : un outil multidimensionnel pour le développement des villes et des communautés

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/045512ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Ndiaye, M. L., Pfeifer, H.-R., Niang, S., Dieng, Y., Tonolla, M. & Peduzzi, R. (2010). Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal). *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, 10(2), 0-0.

Résumé de l'article

L'agriculture urbaine de la région de Dakar est un secteur en plein essor. À cause de la salinisation progressive des eaux de la nappe peu profonde (eaux de Céanes), des eaux usées brutes sont utilisées pour irriguer les champs. L'objectif de notre étude est d'évaluer la qualité chimique et microbiologique des eaux de la nappe sous-jacentes aux champs irrigués et d'identifier les sources de pollution. Notre travail a été effectué dans les sites de Pikine et de Patte d'Oie.

L'analyse de la qualité chimique des eaux d'arrosage a montré qu'à Pikine, la conductivité des eaux de Céanes est plus élevée ($4822 \pm 2411 \mu\text{S cm}^{-1}$) par rapport à celle des eaux usées ($3579 \pm 1242 \mu\text{S cm}^{-1}$; $p < 0.04$). Par contre à Patte d'Oie, les eaux d'arrosage sont moins salées ($< 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$). La quantité d'azote total de tous les types d'eaux d'arrosage est supérieure à la valeur guide de l'OMS (5-30 mg l⁻¹).

Salmonella spp. a été isolée dans 35 % des eaux d'arrosage. Un échantillon d'eaux usées a été positif pour Vibrio cholerae.

L'impact des eaux d'irrigation sur la qualité chimique et microbiologique de la nappe d'eau souterraine est fortement influencé par la pluviométrie et est différent selon le site considéré.

Ce travail a montré que l'irrigation avec les eaux polluées et l'usage de fumiers organiques peut altérer la qualité de la nappe et constituer des risques pour la santé.

IMPACTS DE L'UTILISATION DES EAUX POLLUEES EN AGRICULTURE URBAINE SUR LA QUALITE DE LA NAPPE DE DAKAR (SENEGAL)

M. L. Ndiaye¹, H.-R. Pfeifer², S. Niang³, Y. Dieng⁴, M. Tonolla⁵ et R. Peduzzi⁶

¹LATEU-Laboratoire de traitement des eaux usées- IFAN- Université Cheikh A. Diop, Dakar, Sénégal, Laboratoire d'écologie microbienne, Département de biologie végétale, Université de Genève, ²IMG-Centre d'Analyse Minérale, Faculté de Géosciences et de l'Environnement, Bâtiment Anthropole, CH-1015 Lausanne, Suisse, ³LATEU-Laboratoire de traitement des eaux usées- IFAN- Université Cheikh A. Diop, Dakar, Sénégal, ⁴Département de parasitologie et mycologie, Université Cheikh A. Diop Dakar, Senegal, ⁵Institut Cantonal de Microbiologie, Via Mirasole 22A, CH-6500 Bellinzona, Suisse, Laboratoire d'écologie microbienne, Département de biologie végétale, Université de Genève, Fondation du centre de biologie alpine, Piora, CH-6777 Quinto, Tessin Suisse, ⁶Laboratoire d'écologie microbienne, Département de biologie végétale, Université de Genève

Résumé : L'agriculture urbaine de la région de Dakar est un secteur en plein essor. À cause de la salinisation progressive des eaux de la nappe peu profonde (eaux de Céanes), des eaux usées brutes sont utilisées pour irriguer les champs. L'objectif de notre étude est d'évaluer la qualité chimique et microbiologique des eaux de la nappe sous-jacentes aux champs irrigués et d'identifier les sources de pollution. Notre travail a été effectué dans les sites de Pikine et de Patte d'Oie. L'analyse de la qualité chimique des eaux d'arrosage a montré qu'à Pikine, la conductivité des eaux de Céanes est plus élevée ($4822 \pm 2411 \mu\text{S cm}^{-1}$) par rapport à celle des eaux usées ($3579 \pm 1242 \mu\text{S cm}^{-1}$; $p < 0.04$). Par contre à Patte d'Oie, les eaux d'arrosage sont moins salées ($< 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$). La quantité d'azote total de tous les types d'eaux d'arrosage est supérieure à la valeur guide de l'OMS (5-30 mg l⁻¹). Salmonella spp. a été isolée dans 35 % des eaux d'arrosage. Un échantillon d'eaux usées a été positif pour Vibrio cholerae. L'impact des eaux d'irrigation sur la qualité chimique et microbiologique de la nappe d'eau souterraine est fortement influencé par la pluviométrie et est différent selon le site considéré. Ce travail a montré que l'irrigation avec les eaux polluées et l'usage de fumiers organiques peut altérer la qualité de la nappe et constituer des risques pour la santé.

Mots-Clés : Agriculture urbaine, eaux usées, fumiers organiques, nappe d'eau, Salmonella spp.

Abstract: In Dakar capital city of Senegal, the urban agriculture is in high expansion. Since the progressive increase of salinity in the local groundwater (Céanes water), raw wastewater is used to water the crops. The objective of this study is to assess chemical and microbiological quality of the groundwater underlying the irrigated plots and to identify the sources of pollution. This work was carried out in the sites of Pikine and Patte d'Oie in Dakar Senegal. Chemical analysis of irrigation water showed that in Pikine, the conductivity of Céanes water was higher ($4822 \pm 2411 \mu\text{S cm}^{-1}$) than those of the wastewater ($3579 \pm 1242 \mu\text{S cm}^{-1}$; $p < 0.04$), while at Patte d'Oie it was less salted ($< 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$). The quantity of total nitrogen of irrigation water in both sites was higher than the WHO's threshold (5-30 mg l⁻¹). Salmonella spp. was isolated in 35 % of the irrigation water. One wastewater sample was Vibrio cholerae positive. The impact of irrigation water on the chemical and microbiological quality of the groundwater is strongly influenced by precipitations and is different according to the site considered. This work showed that the use of polluted water and organic manures can spoil the quality of the groundwater and constitute a health threat.

Keywords: Urban agriculture, raw wastewater, manures, groundwater, Salmonella spp.

Référence électronique

M. L. Ndiaye, H.-R. Pfeifer, S. Niang, Y. Dieng, M. Tonolla, R. Peduzzi 2010, «L'étalement urbain au péril des activités agro-pastorales à Abidjan. », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 10 numéro 2, [En ligne], URL : <http://vertigo.revues.org/9965>

Introduction

Face à une croissance démographique galopante, les villes des pays en voie de développement sont assujetties à une insécurité alimentaire et à un taux de chômage élevé. L'agriculture urbaine, une activité en plein essor, semble

être une alternative intéressante pour résorber une partie du chômage et fournir des aliments frais à la ville. En effet, 70 % de l'approvisionnement en légumes de la région de Dakar proviennent de l'agriculture urbaine (Mbaye, 1999) et les mêmes tendances ont été reportées dans d'autres pays en développement comme le Ghana, le Mali... (Akinbamijo et al., 2002). Cependant, son expansion se heurte au déficit hydrique et au problème du foncier bâti. Actuellement, 70 % des eaux douces à l'échelle mondiale, sont utilisés à des fins agricoles. Dans les pays en voie de développement, ce taux est au-delà de 95 % (UN-Water, 2006). Le stress hydrique que connaissent les pays arides et semi-arides a incité les agriculteurs à l'usage des eaux usées comme source d'irrigation. La réutilisation des eaux résiduaires et des excréta dans les exploitations agricoles a été adoptée déjà au Royaume-Uni dès 1865 et au Mexique en 1904 (Mara et Cairncross, 1991). Aujourd'hui, ce phénomène a pris une grande ampleur (Ensink et al., 2002 ; Hussain et al., 2002 ; Van der Hoek et al., 2002) dans les pays arides et semi arides. Le nombre d'agriculteurs qui utilisent des eaux usées traitées, partiellement traitées ou brutes, est estimé à 200 millions et les surfaces irriguées à, au moins, 20 millions d'hectares à travers le monde (Raschid-Sally et Jayakody, 2008). Ces types de pratiques ne sont pas sans conséquences sur l'environnement. En effet, l'épandage des eaux usées brutes sur les sols et l'utilisation des fumiers organiques sont souvent incriminés dans la contamination microbiologique et chimique des eaux des nappes souterraines (Bolster et al., 2006 ; Majdoub et al., 2003).

La contamination microbiologique des eaux de la nappe souterraine pose de véritables problèmes de santé publique. Ainsi, la consommation d'eau non potable est parmi les causes principales de mortalité et de morbidité dans le monde (OECD, 2003). 88 % des cas de diarrhée dans le monde sont attribués à la consommation d'eau non potable et à une hygiène inadéquate ou insuffisante et sont responsables de 1.5 million de morts chaque année, surtout chez les enfants (OMS, 1992 ; Prüss-Üstün et al., 2008). Dans le contexte de la région de Dakar, l'agriculture urbaine se pratique dans un écosystème très fragile (sol perméable, nappe d'eau superficielle). L'épandage des eaux polluées pour l'irrigation des champs pose un réel risque pour l'environnement et pour la santé des populations d'où l'intérêt de notre étude sur les impacts chimiques et microbiologiques des eaux d'arrosage sur la qualité de la nappe d'eau souterraine.

Matériels et méthodes

Sites d'étude

L'agriculture urbaine de Dakar est pratiquée dans les *Niayes*, zone aux conditions climatiques et hydrologiques très favorables à l'activité (Figure 1). La zone des *Niayes* est constituée d'une série de dunes et d'inter-dunes. La nappe d'eau souterraine est très superficielle (0.5 m à 10 m de profondeur). Les sols sont constitués à 96 % de sable, 2 % de limon et de 2 % d'argile (Dièye et Henzi, 2006). Les sols sont perméables et le coefficient de perméabilité, mesuré sur le terrain, a été de 1.1 m s^{-1} . Dû à la salinisation progressive des eaux de la nappe, les agriculteurs ont commencé à réutiliser les eaux usées brutes d'anciens tuyaux d'évacuation pour irriguer les champs. Le choix des sites est basé sur l'utilisation des eaux usées brutes comme eaux d'irrigation. Notre étude s'est déroulée dans les deux sites d'agriculture urbaine les plus importants de Dakar : Pikine et Patte d'Oie. Le site de Pikine est caractérisé par l'utilisation des eaux usées brutes (provenant du réseau domestique) et des eaux de *Céanes* pour l'irrigation des champs et d'une production annuelle de laitue estimée à environ 3500 tonnes par année (Ndiaye, 2009). À Patte d'Oie, 3 types d'eaux sont utilisés (eaux de *Céanes*, de puits et eaux usées brutes). Cependant, l'utilisation des eaux usées a été interdite dans ce site à partir du mois de mai 2008. La production annuelle de laitues est d'environ 560 tonnes par année.

Le site de Dène situé à 40 km de Dakar a été pris comme référence parce qu'il se trouve sur la même nappe d'eau souterraine que Pikine (Nappe des sables Quaternaires) et par l'utilisation exclusive des eaux de la nappe pour l'irrigation des champs (eaux de puits et de *Céanes*).

Échantillonnage des eaux d'arrosage

Quatre campagnes de prélèvement ont été organisées en 2006 (juillet à octobre), deux en 2007 (février et mai) et 6 en 2008 (février à avril et juillet, septembre, octobre) soit au total 12 campagnes de terrain. Dans les sites de Pikine, 35 échantillons d'eaux usées, et 19 eaux de *Céanes* ont été prélevés et à Patte d'Oie, 12 échantillons d'eaux usées, 28 eaux de *Céanes* et 32 eaux de puits, soit au total 126 échantillons d'eaux d'arrosage (Figure 2). À Dène (site témoin), 10 échantillons ont été prélevés au mois de novembre 2008 (5 eaux de *Céanes* et 5 eaux de puits).

Les eaux d'arrosage ont été prélevées grâce à un seau muni d'une corde et préalablement lavé avec de l'eau distillée. Pour chaque campagne, un litre d'eau de chaque type d'eau d'arrosage a été prélevé et mis dans une bouteille en polyéthylène (PE) puis dans une glacière contenant des *freezer packs* pour la conservation à 4°C jusqu'au laboratoire. Les analyses microbiologiques ont été faites dans les 24 h suivant les prélèvements. De même, un litre a été prélevé pour les analyses chimiques.

Échantillonnages des eaux de la nappe

Le prélèvement des eaux de la nappe souterraine à l'intérieur des sites d'étude a été fait par l'intermédiaire des piézomètres qui ont été implantés dans le cadre de ce travail et par les puits existants. De même, des prélèvements d'eaux ont été effectués aux alentours des sites d'étude au moyen des pompes manuelles (sorte de forage installé dans les maisons en général pour pomper l'eau de la nappe), des puits et des piézomètres existants (Figure 2). Les eaux ont été prélevées grâce à une pompe péristaltique pour les piézomètres, directement pour les pompes manuelles et à l'aide d'un seau muni d'une corde pour les puits.

Dix campagnes de prélèvement ont été organisées entre 2006 et 2008 selon le même organigramme que celles des eaux d'arrosage. Au total 209 échantillons ont été collectés. Il faut noter que l'usage des eaux usées a été interdit à Patte d'Oie à la fin du mois de mai 2008 sur injonction de la société nationale de gestion des eaux usées qui voulait limiter les détériorations de son réseau.

Analyses chimiques

Le pH et la conductivité ont été mesurés in situ sur le terrain. L'analyse des éléments majeurs (K^+ , N_{total} , P_{total}) a été faite avec les méthodes colorimétriques PALINTEST/HACH (approuvées par US-EPA) à partir des échantillons non filtrés. La DCO (demande chimique en oxygène) a été mesurée avec le PALINTEST dans la gamme 50 à 2000 mg/l O_2 .

Analyses microbiologiques

La recherche des coliformes fécaux a été faite avec le milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose) à partir d'un millilitre d'échantillon bien homogénéisée. Les résultats ont été

exprimés en nombre d'Unités Formatrices de Colonies (UFC) par 100 ml.

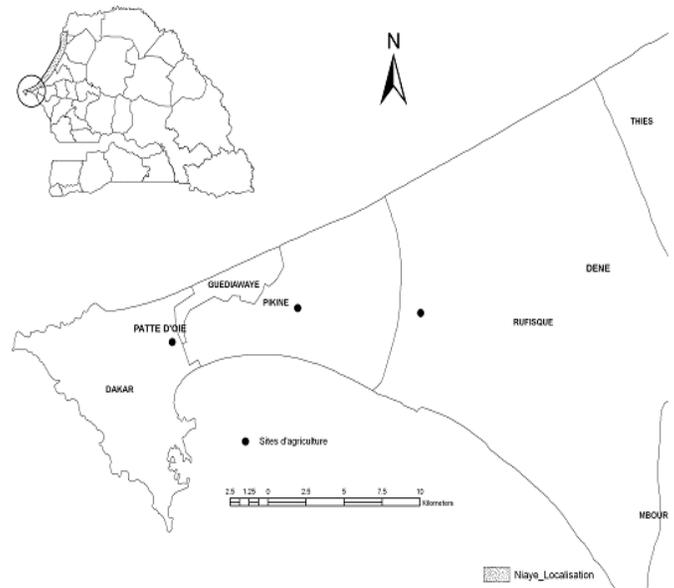


Figure 1. Localisation des sites d'étude

Pour la mise en évidence de *Salmonella* spp., 500 ml d'eau ont été filtrés à travers un filtre d'acétate cellulosique de 0.45 μm de diamètre des pores (pour les eaux usées ~10 ml à cause du colmatage). Le filtre a été ensuite transvasé dans un tube à essai contenant 9 ml de bouillon de Rappaport Vasiliadis et incubé à 43°C pendant 24 h. 10 μl du mélange ont été isolés sur le milieu Hecktoen et incubés à 43°C pendant 24 h. Les colonies suspectes ont été repiquées et re-suspendues dans 100 μl d'eau physiologique (9 ‰ NaCl). Après les tests biochimiques avec les milieux de Kligler Hajna, Citrate de Simmons, Mannitol-mobilité, l'Urée indole et les disques ONPG (*o*-nitrophényl- β -D-galactopyranoside), la confirmation a été faite avec la méthode de Fluorescence *In Situ* Hybridization (FISH) avec la sonde Sal3 (Nordentoft et al., 1997) marquée au Cy3. Les résultats sont exprimés en présence/absence par volume filtré. Le sérotypage des *Salmonella* spp. a été fait par agglutination sur une lame de verre avec des antisérums pour *Salmonella*. 30 souches de *Salmonella* spp. ont été sérotypées par le Nationales Zentrum für enteropathogene Bakterien de Luzerne (Suisse).

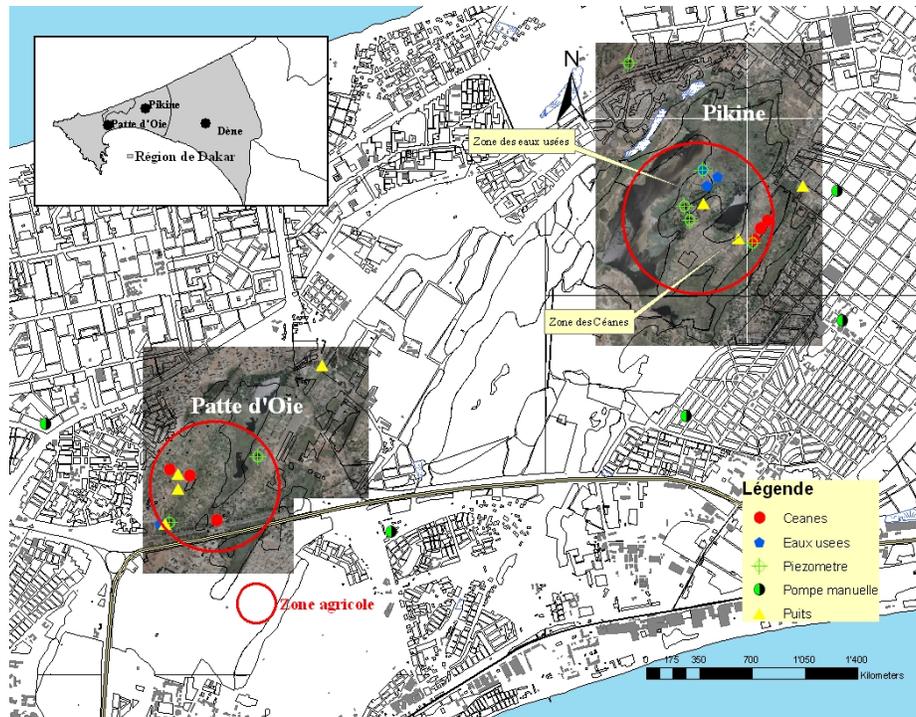


Figure 2. Points d'échantillonnage des eaux

Pour la recherche de *Vibrio cholerae*, 100 ml d'eau ont été filtrés avec le filtre acétate cellulose de 0.45 μm de diamètre de pore. Le filtre a été ensuite mis dans un tube à essai contenant de l'eau peptonée saline (9 % NaCl) et incubé à 37°C pendant 24 h. 10 μl du mélange sont isolés sur le milieu Thiosulfate citrate bile saccharose (TCBS). Les colonies suspectes ont été repiquées et re-suspendues dans 100 μl d'eau physiologique. Les tests biochimiques ont permis l'identification. Les résultats sont exprimés en présence/absence par volume filtré.

Analyses des données

Les données ont été analysées sur SPSS 16.0. Pour les besoins de l'analyse, certaines données ont été normalisées par une transformation logarithmique avant l'analyse de variance. (ANOVA) avec un niveau de signification $p < 0.05$. Un test Post-Hoc de Bonferroni a permis de comparer la moyenne des variables des différents types d'eaux.

Dans notre étude, la contribution éventuelle des fosses septiques dans la pollution des eaux de la nappe n'a pas pu être évaluée. D'autres études pourront élucider dans l'avenir l'effet de chaque facteur.

Résultats et discussion

Caractéristiques chimiques des eaux d'irrigation

À Pikine, les eaux d'irrigation ont des conductivités très élevées et qui dépassent la norme de l'OMS (Figure 3A) pour leur épandage sur un sol à des fins agricoles sans conditions (WHO, 2006). Les eaux de Céanes ont une salinité ($4822 \pm 2411 \mu\text{S cm}^{-1}$) plus élevée que celles des eaux usées ($3579 \pm 1242 \mu\text{S cm}^{-1}$, $p < 0.04$). À Patte d'Oie, les eaux d'irrigation sont moins salées ($< 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$) que celles de Pikine. À Dène, les eaux de Céanes et de puits ont respectivement des conductivités de 1839 ± 218 et de $425 \pm 218 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Pour l'azote total, tous les types d'eau ont dépassé la norme de l'OMS (5-30 mg/l) pour leur épandage sur un sol (Figure 3C). À Pikine, en période pluvieuse, la teneur en azote total des eaux de Céanes a augmenté de 1.7 fois et celles des eaux usées de 6 fois (Figure 4B). Ce phénomène peut être lié au lessivage des engrais organique et minéral épandus sur les champs, mais aussi par le biais de l'utilisation des eaux usées. À Patte d'Oie, la variation saisonnière de l'azote des eaux d'irrigation n'a pas été significative.

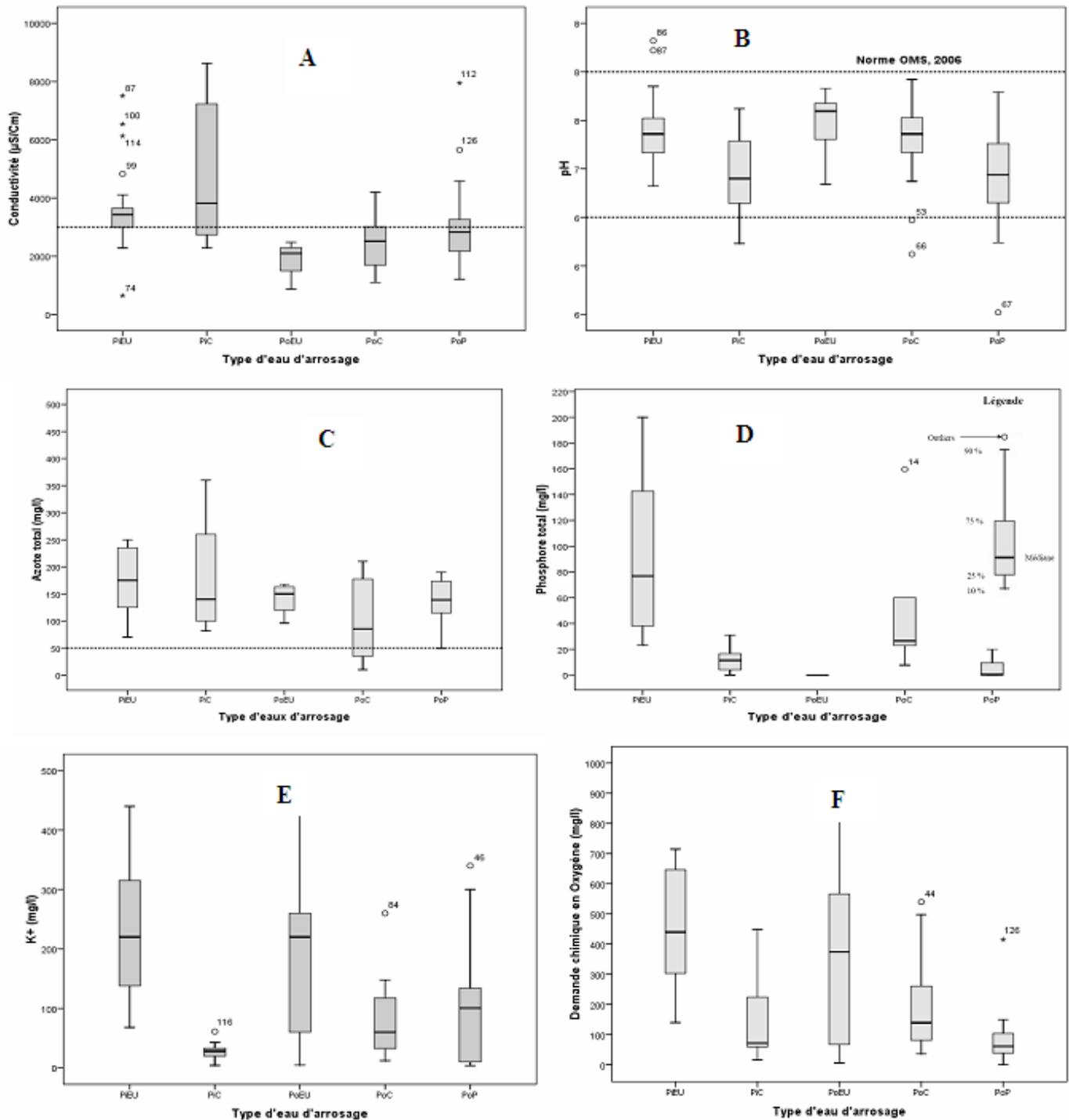


Figure 3. Caractéristiques chimiques des eaux d'arrosage.
 Légende : Pi =Pikine, Po =Patte d'Oie, EU =Eaux usées, C =Céanes, P =Puits

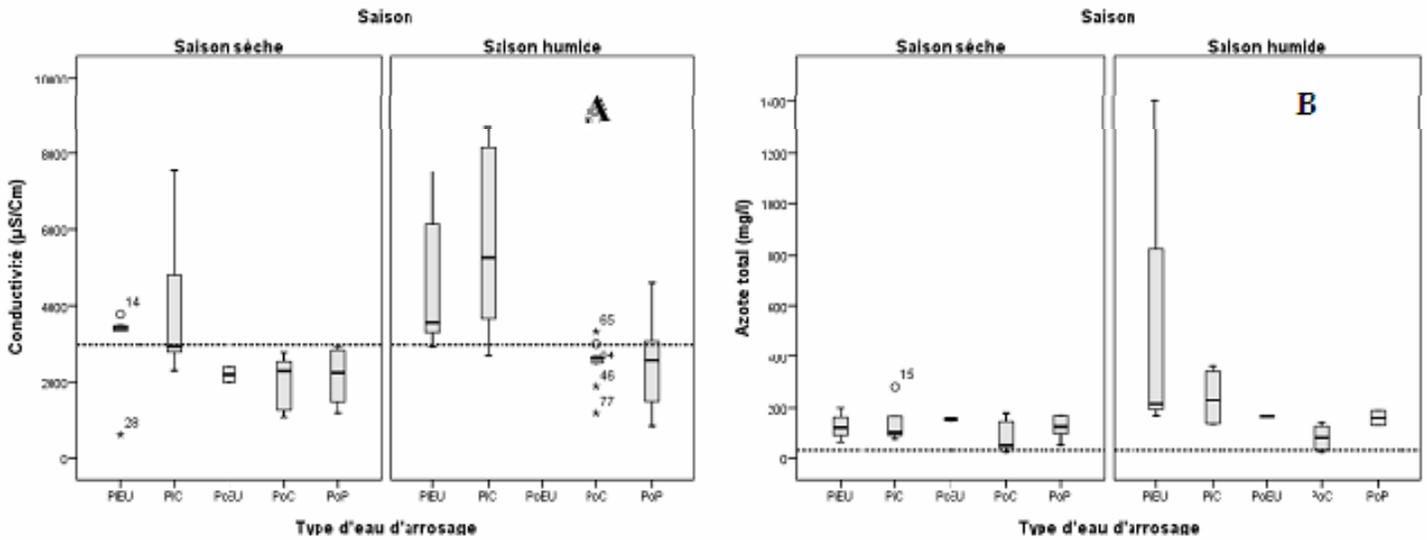


Figure 4. Variation saisonnière des paramètres chimiques des eaux d'arrosage en 2008.

Légende : Pi =Pikine, Po =Patte d'Oie, EU =Eaux usées, C =Céanes, P =Puits

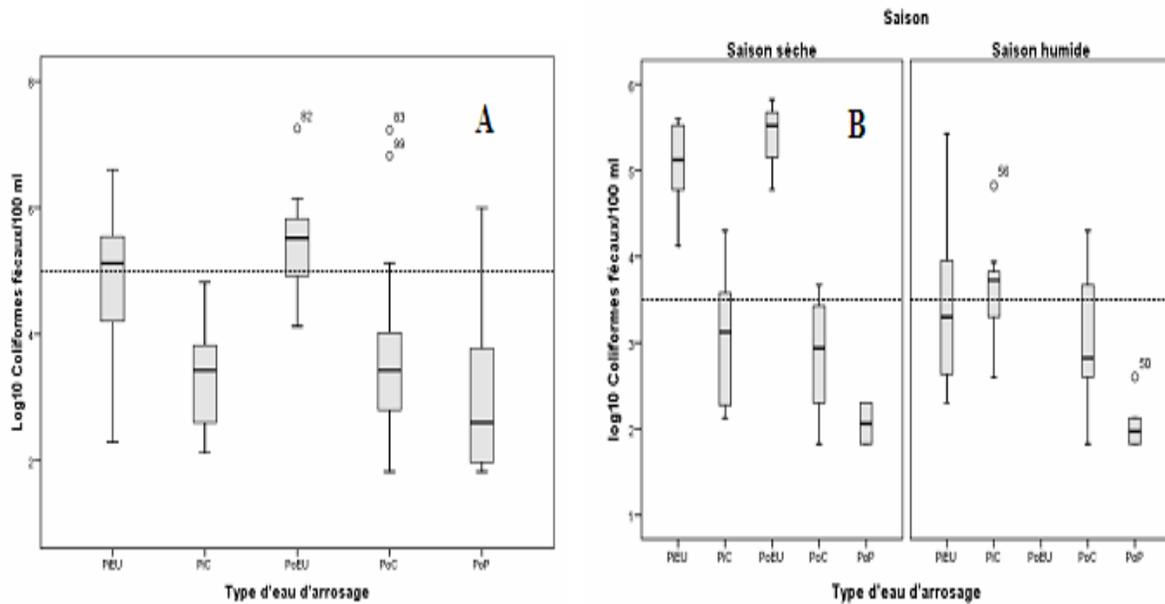


Figure 5. Charge fécale des eaux d'arrosage et la variation saisonnière en 2008.

Légende : Pi =Pikine, Po =Patte d'Oie, EU =Eaux usées, C =Céanes, P =Puits

D'un point de vue agronomique, les eaux usées ont une valeur nutritive plus élevée que celle des eaux de Céanes et de puits. Les éléments essentiels pour la croissance végétale (N, P, K) y sont présents en grande quantité

(Figure 3C, D, E), de même que la matière organique, source de carbone (Figure 3F).

Caractéristiques microbiologiques des eaux d'arrosage

Par rapport aux coliformes fécaux, la charge bactérienne des eaux usées a été plus élevée que celle des eaux de Céanes et de puits ($p < 0.001$) et a dépassé les normes de l'OMS (WHO, 2006) pour leur épandage sur des cultures destinées à être consommées crues (Figure 5A).

À Pikine, la charge en coliformes fécaux des eaux de Céanes a augmenté durant la saison pluvieuse et a dépassé les recommandations de l'OMS tandis que les eaux usées ont été diluées (Figure 5B). Ce phénomène pourrait être lié au lessivage des engrais organiques par la pluie et le ruissellement vers les Céanes.

À Dène, la charge en coliformes fécaux des eaux de Céanes (360 ± 238 UFC 100 ml^{-1}) et des eaux de puits (100 ± 141 UFC 100 ml^{-1}) est très inférieure par rapport aux normes de l'OMS (10^5 UFC 100 ml^{-1}).

Tableau 2. Fréquence de *Salmonella* spp. dans les eaux d'irrigation

Sites d'étude	Source d'eaux d'irrigation	<i>Salmonella</i> spp.
		% of positive samples (n=78)
Pikine	Eaux de Céanes	17
	Eaux usées	11
Patte d'Oie	Eaux de Céanes	28
	Eaux usées	0
	Eaux de puits	12

Salmonella spp. a été isolée dans 35 % des eaux d'irrigation analysées. À Pikine, 17 % des eaux de Céanes et 11 % des eaux usées sont *Salmonella* positives et à Patte d'Oie, 28 % des eaux de Céanes et 12 % des eaux de puits (Tableau 2). Des souches de *Salmonella* virulentes ont été isolées dans les eaux usées à Pikine (*S. paratyphi* A) et dans les eaux de Céanes à Patte d'Oie (*S. typhi*). La sur-contamination des eaux naturelles (eaux de Céanes et de puits) par rapport aux eaux usées peut s'expliquer de deux manières. D'une part, les agriculteurs qui irriguent avec les eaux de Céanes et de puits utilisent beaucoup de fumiers organiques pour amender les champs (Fig. 6). Plus particulièrement dans le site de Patte d'Oie, 100 et 71 % des agricultures qui

arrosent, respectivement, avec les eaux de Céanes et de puits, amendent les champs avec les fientes de volailles qui contiennent généralement une panoplie d'espèces appartenant au genre *Salmonella* (Orji et al., 2005). Par le biais des pieds nus et des arrosoirs posés dès fois par terre, la contamination peut être transférée dans les Céanes au cours de l'arrosage. D'autre part, les vendeuses lavent les laitues achetées aux champs dans les Céanes avant la vente au marché. Ce type de pratique peut favoriser le transfert de contaminants d'un champ à l'autre. *Vibrio cholerae* a été détecté dans un échantillon d'eaux usées dans le site de Pikine.

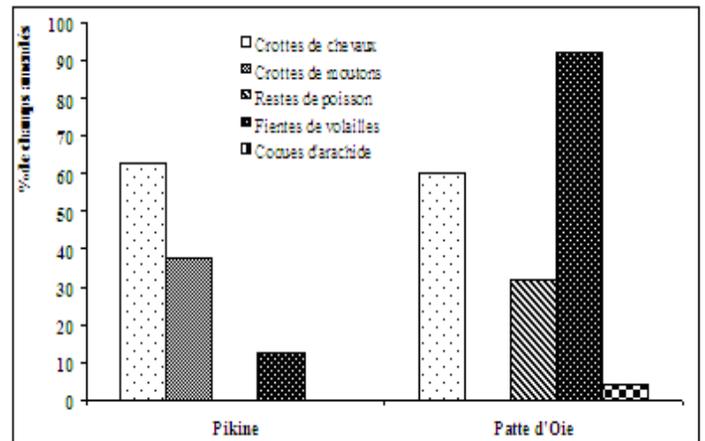


Figure 6. Utilisation des différents types de fumiers organiques utilisés dans les sites d'agriculture urbaine (Enquête faite dans le cadre de ce travail en 2008 comportant sur 41 champs, 16 à Pikine et 25 à Patte d'Oie).

Impact chimique des eaux d'arrosage sur la nappe souterraine

Les mesures de conductivité électriques à Pikine (Figure 7) ont montré que, les eaux de la nappe sous-jacentes aux champs irrigués avec les eaux usées brutes, ont des salinités plus élevées par rapport à celles dans la zone d'irrigation avec les eaux de Céanes. En plus, les points d'eau les plus proches du site ont une salinité plus élevée par rapport à ceux plus éloignés. À Patte d'Oie, à part les eaux sous-jacentes un champ irrigué avec les eaux de Céanes, la conductivité des eaux de la nappe est assez homogène à l'intérieur et à l'extérieur du site.

L'analyse de la variation saisonnière de la conductivité des eaux de la nappe a montré une grande influence de la pluviométrie à Pikine. En 2008, où le cumul de saison (510,4 mm) a excédé la normale (396.6 mm) de saison (Météo,

2008), la conductivité des eaux a fortement augmenté (max. $6913 \mu\text{S cm}^{-1}$) par rapport à l'année 2006 (cumul de saison 419.3 mm) où la valeur maximale enregistrée a été de $5550 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Figure 8-9). À Dène, les eaux de la nappe ont des conductivités de $960 \pm 646 \mu\text{S cm}^{-1}$.

L'épandage des eaux à conductivité élevée sur le sol a entraîné une formation de croûtes de sel visibles par endroits. Des phénomènes similaires ont été décrits en Israël par Kass (2005). Pendant la saison pluvieuse, les fortes pluies ont remobilisé les sels et entraîné un lessivage et une accumulation dans la nappe d'eau souterraine.

L'analyse spatiale de la distribution des conductivités des points d'eau situés aux alentours du site de Pikine semble

montrer que les activités agricoles auraient une influence sur la qualité des eaux des points les plus proches du site (Figure 7). En effet, durant la période pluvieuse, seuls ces deux points ont enregistré de forte variation de leur salinité, de la même manière qu'à l'intérieur du site (Figure 8-9). Par contre à Patte d'Oie, les activités agricoles ne semblent pas avoir d'incidence sur la salinité des points d'eau environnants.

Dans le site de Pikine, la quantité d'azote total des eaux de la nappe est très élevée ($>100 \text{ mg/l}$) par rapport à celle de Patte d'Oie (Figure 10). En effet, la nappe de Pikine a été classée dans la zone à nappe phréatique très vulnérable avec des quantités de nitrate de 100 à 550 mg/l (Faye et al., 2004).

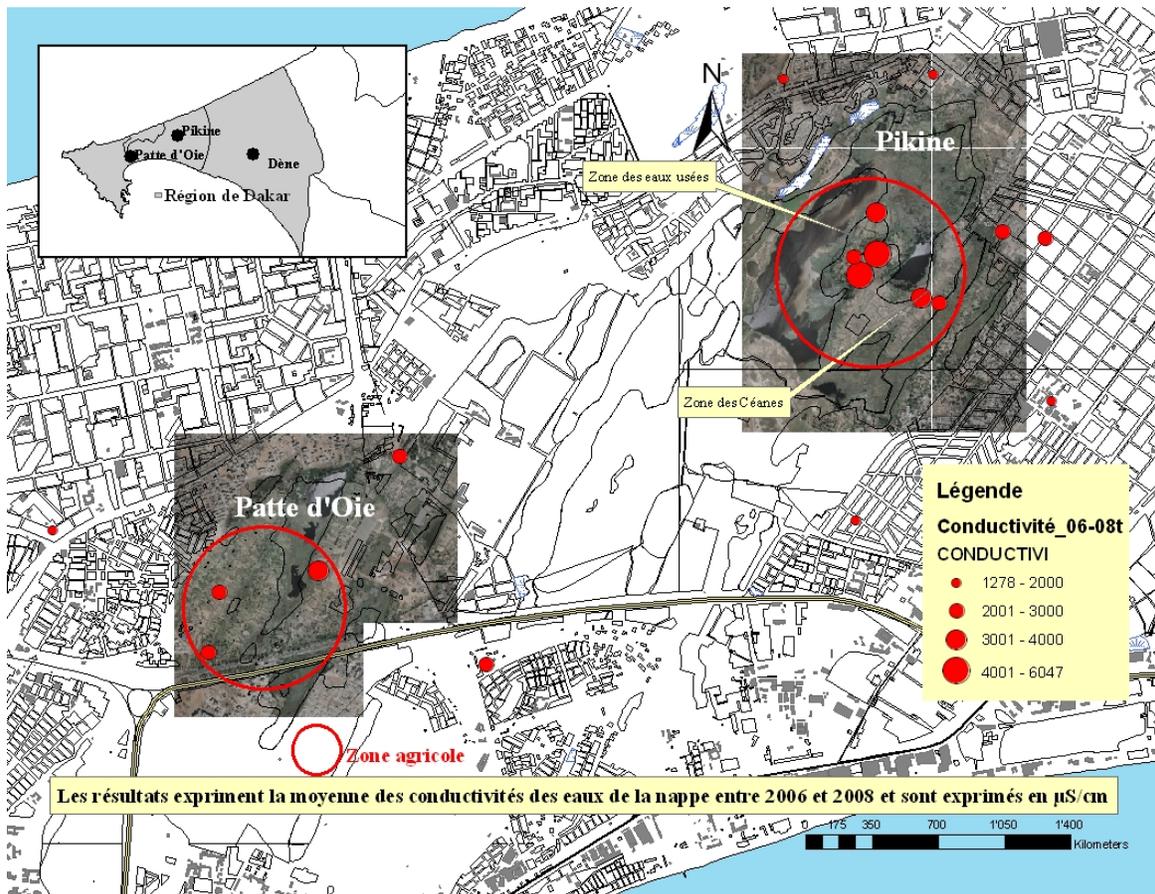


Figure 7. Conductivité des eaux de la nappe d'eau souterraine entre 2006 et 2008.

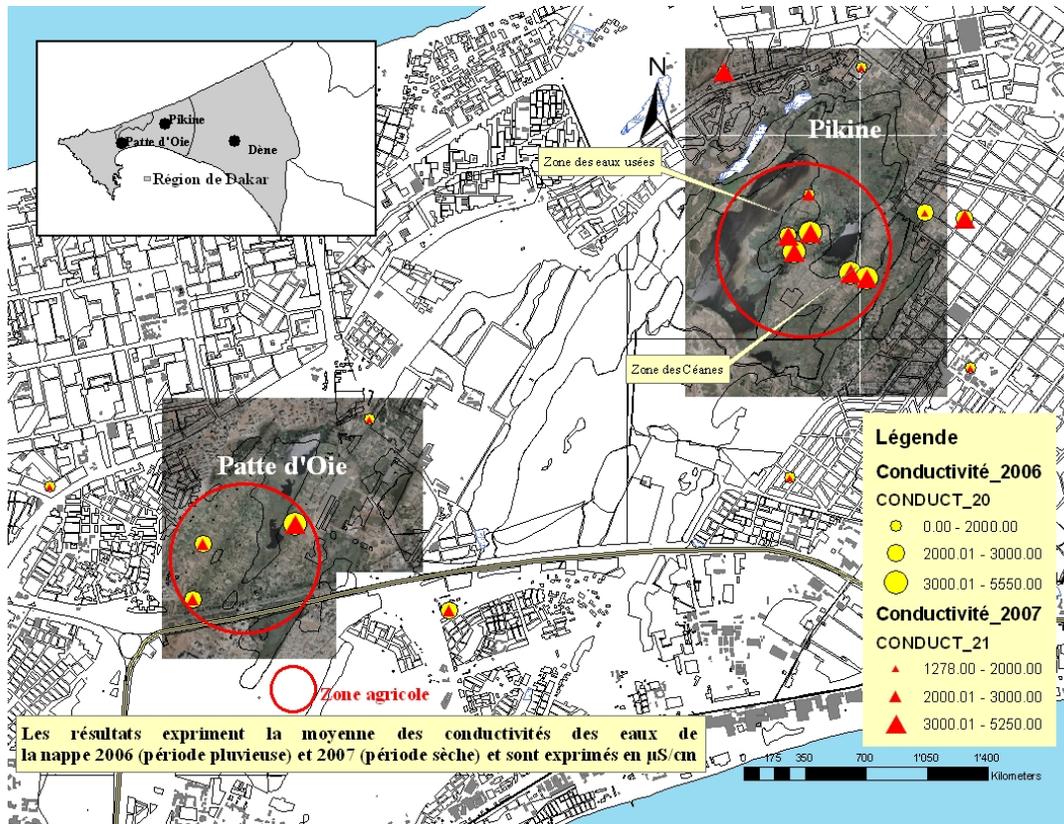


Figure 8. Variation temporelle de la conductivité des eaux de la nappe entre 2006-07.

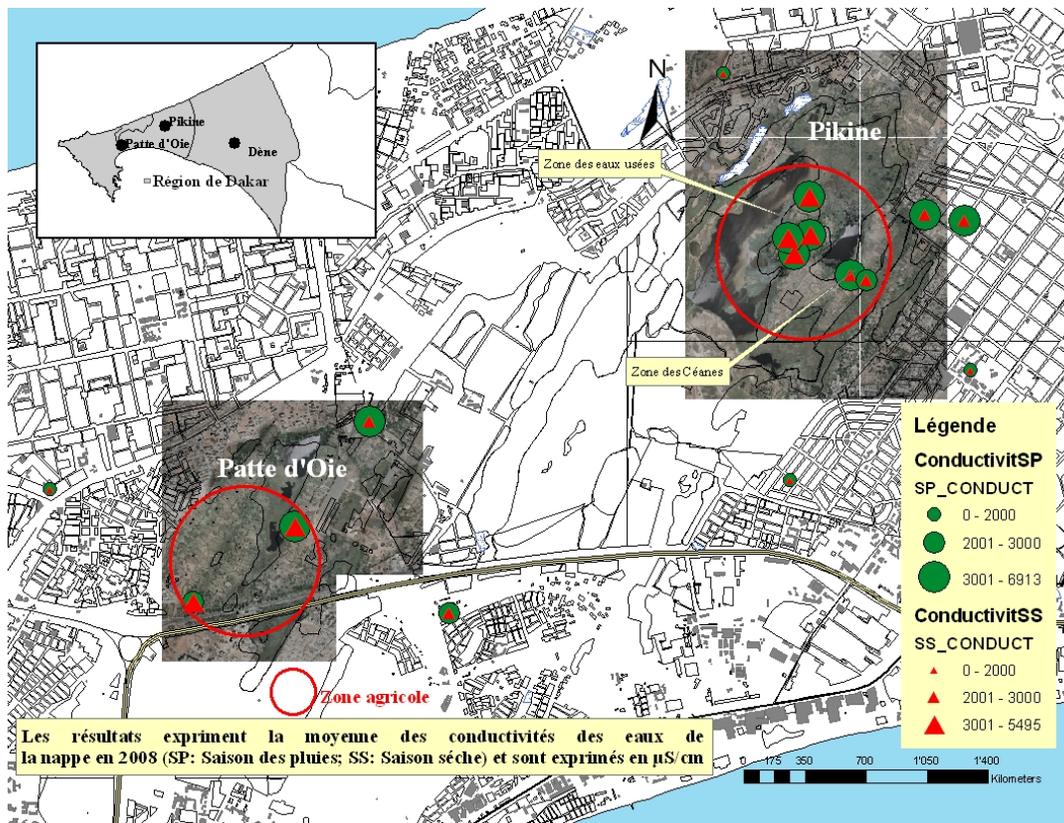


Figure 9. Variation temporelle de la conductivité des eaux de la nappe en 2008.

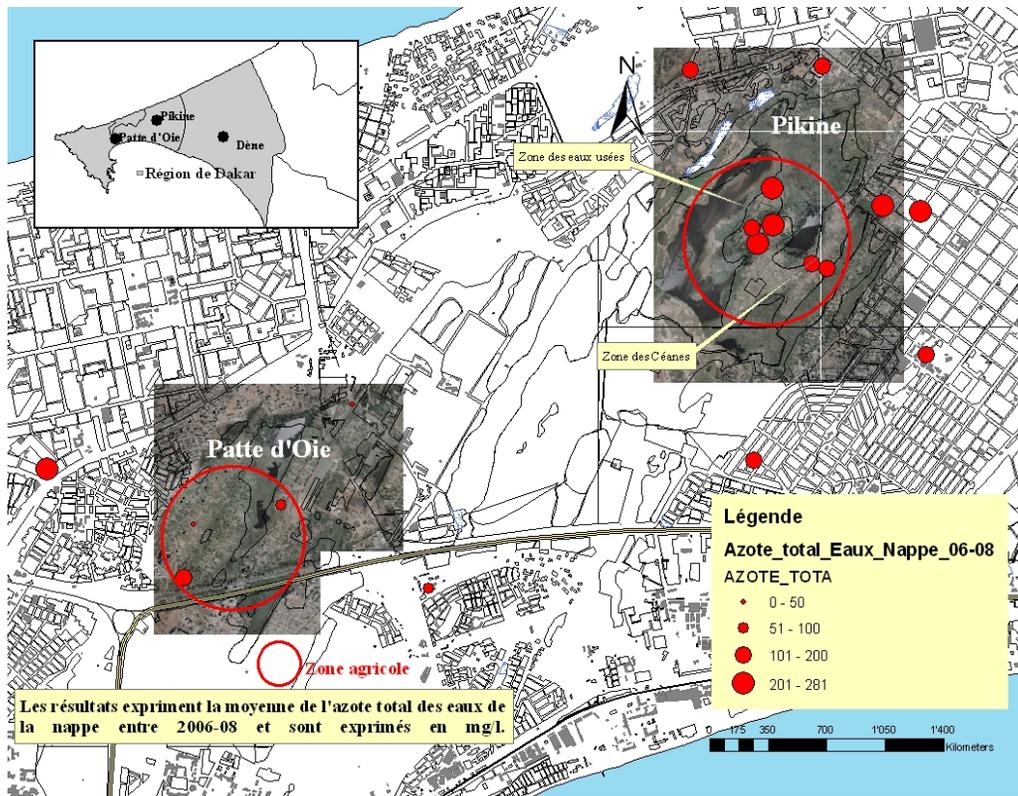


Figure 10. Quantité d'azote total des eaux de la nappe d'eau souterraine.

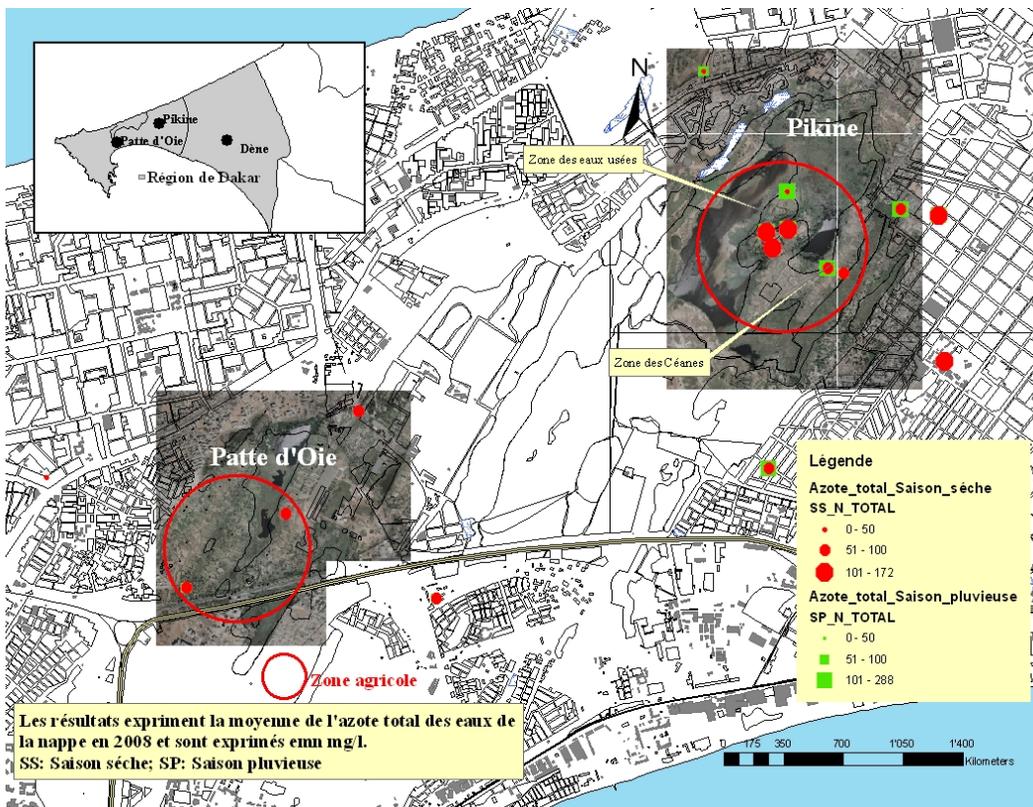


Figure 11. Variation saisonnière de la quantité d'azote total des eaux de la nappe d'eau souterraine en 2008.

L'analyse de la variation saisonnière de l'azote des eaux de la nappe à l'intérieur du site de Pikine a montré que la pluviométrie a favorisé le lessivage de l'azote des eaux usées, des engrais organique et minéral (Figure 11). En effet, plusieurs études ont montré que le véritable problème lié à l'agriculture est la contamination de la nappe par les composés azotés provenant soit des eaux usées et/ou des engrais, surtout en période pluvieuse (Majdoub et al., 2003).

Impact microbiologique des eaux d'arrosage sur la nappe souterraine

La charge en coliformes fécaux des eaux de la nappe est fortement influencée par la pluviométrie (Figure 12 et 13). À Pikine, la contamination des eaux de la nappe à l'intérieur du site est quasiment permanente. Des coliformes fécaux ont été dénombrés dans les points d'eau les plus proches du site de Pikine pendant la saison pluvieuse en 2006 et en 2008.

Ces tendances ont été reportées par des études antérieures sur la migration des entérobactéries dans les sols à Pikine. En effet, les résultats de ces études avaient montré que les entérobactéries peuvent migrer jusqu'à 60 cm de profondeur en saison sèche (Ndiaye et al., 2006), alors qu'en saison pluvieuse, elles ont été détectées à 280 cm de profondeur (Félix, 2006).

À Patte d'Oie, après les épisodes pluviaux, les coliformes fécaux ne sont pas détectés dans les eaux de la nappe (Figure 12-13). Cependant, durant la saison sèche de l'année 2007, les eaux de la nappe étaient positives aux coliformes fécaux (Figure 12). À Déné, aucun coliforme fécal n'a été détecté dans la nappe d'eau souterraine.

Salmonella spp. a été détectée dans les eaux de la nappe à l'intérieur du site de Pikine dans la zone d'irrigation avec les eaux usées brutes durant la saison sèche et au point d'eau le plus proche du site pendant la période pluvieuse (Figure 14).

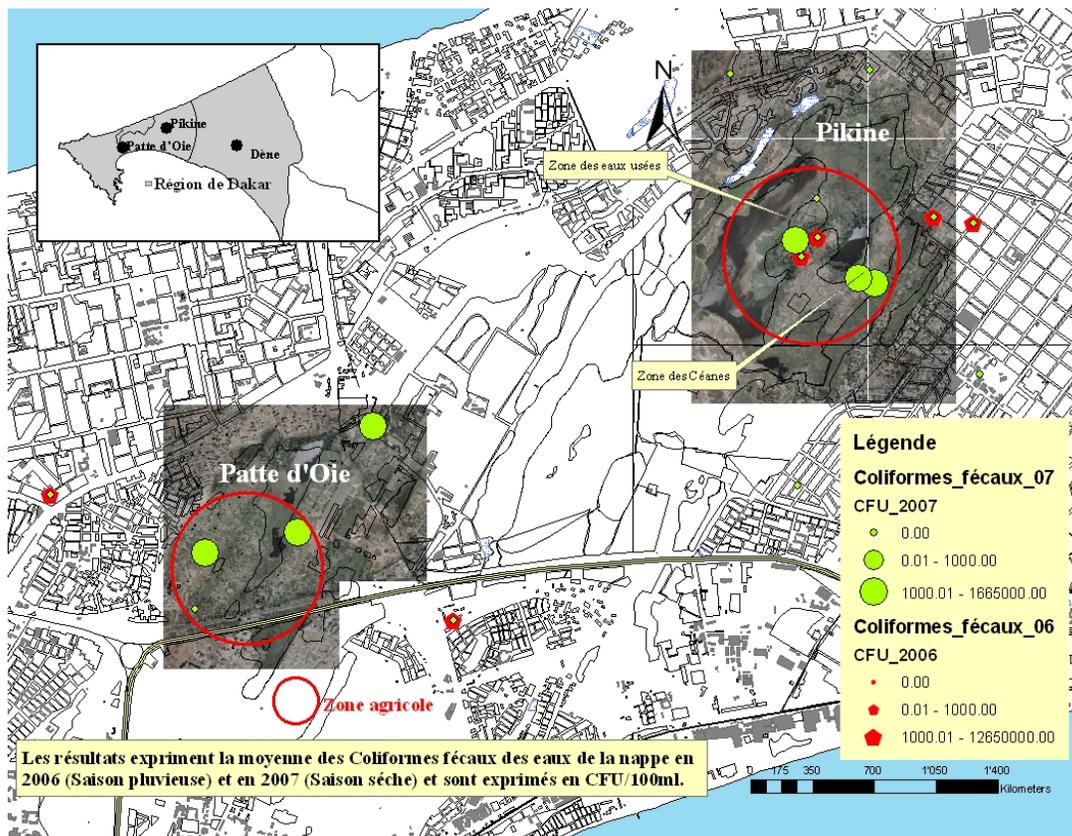


Figure 12. Variation saisonnière des Coliformes fécaux des eaux de la nappe en 2006-07

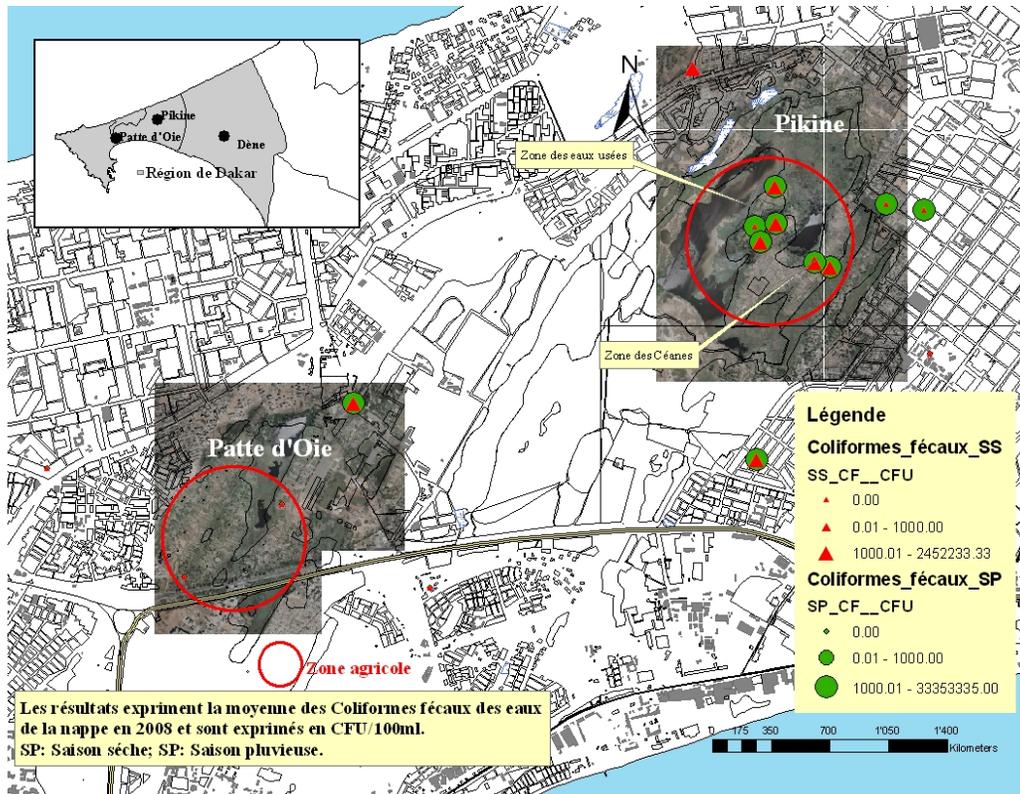


Figure 13. Variation saisonnière des Coliformes fécaux des eaux de la nappe en 2008

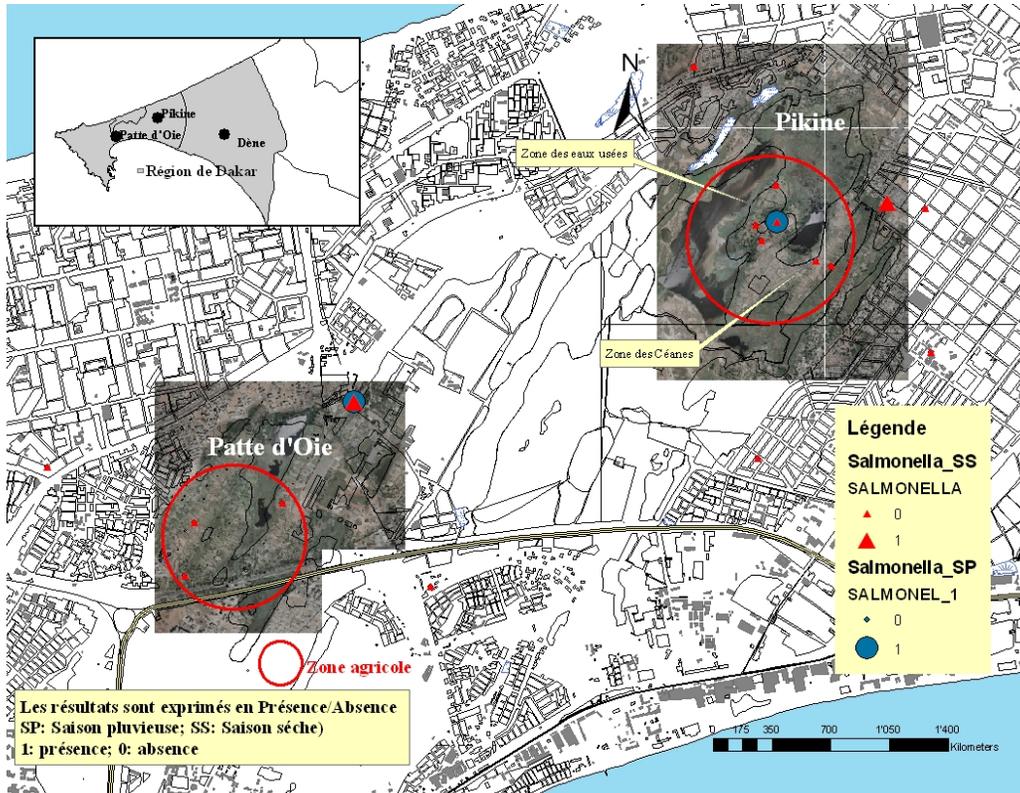


Figure 14. Variation saisonnière de Salmonella spp. des eaux de la nappe souterraine en 2008

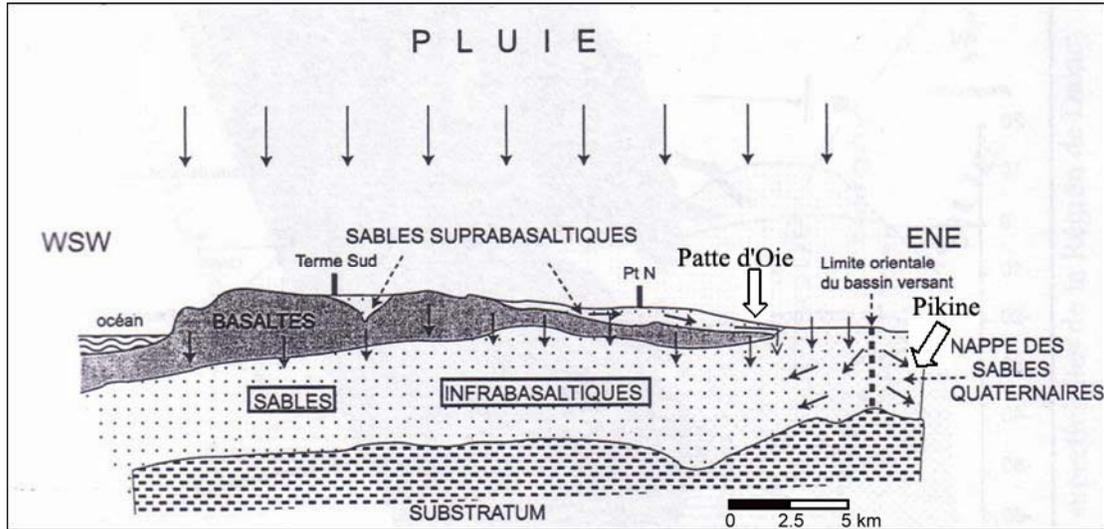


Figure 15. Influence de la pluviométrie sur les nappes d'eau souterraine de la région de Dakar (Dasylyva, 2001)

Par contre à Patte d'Oie, *Salmonella* spp. n'a été détectée qu'à l'extérieur du site durant les deux saisons (Figure 14).

La grande différence de la qualité chimique et microbiologique entre les eaux de la nappe du site de Pikine et de Patte d'Oie peut s'expliquer par le fait qu'ils ne se situent pas sur les mêmes nappes (Figure 15). Le site de Patte d'Oie se situe sur la nappe Supra et Infrabasaltique dynamique et qui se renouvelle en fonction de la pluviométrie. Et, Pikine se trouve sur la nappe des Sables Quaternaires plus stagnante. Probablement la distance moyenne verticale entre les champs cultivés et la nappe à Patte d'Oie (8 m), par rapport à Pikine (4 m), contribue également à la contamination plus importante constatée sur ce dernier site. Le nombre d'exploitants (intensité de l'exploitation) y joue certainement aussi un rôle non-négligeable.

Dène (site témoin situé à 40 km de Dakar) appartient à la même unité hydrographique que le site de Pikine (Nappe des Sables Quaternaires). La comparaison de la qualité chimique et microbiologique des eaux de la nappe des deux sites a montré une altération de la nappe de Pikine par rapport à celle de Dène. Les résultats de notre étude semblent montrer que l'irrigation avec les eaux polluées et l'usage abusive de fumiers organiques à cause de la salinité des eaux sont à l'origine de cette contamination. En d'autres termes, l'agriculture urbaine a des impacts sur la qualité chimique et microbiologique de la nappe.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que tous les types d'eau d'irrigation (eaux usées, de Céanes et de puits) ne satisfont pas aux normes de l'OMS pour leur utilisation en agriculture. Les eaux naturelles (eaux de Céanes et de puits) ont des taux de contamination par *Salmonella* spp. plus élevés par rapport aux eaux usées brutes, dû probablement au transfert de contaminants qui peut s'opérer à l'intérieur des champs (fumiers organiques, lavage des laitues dans les Céanes ...). Les processus de salinisation des eaux de la nappe, surtout à Pikine, semblent être intensifiés par l'épandage des eaux salées (eaux usées, eaux de Céanes) qui entraîne une remobilisation et une accumulation. Ce phénomène étant plus marqué durant la saison pluvieuse. L'impact des eaux d'irrigation sur la qualité de la nappe d'eau souterraine a été fortement influencé par la pluviométrie. À Pikine, la qualité de la nappe semble être influencée par les activités agricoles, à l'intérieur et aux points d'eau les plus proches du site, surtout après les événements pluvieux. Par contre à Patte d'Oie, la dégradation de la qualité chimique et microbiologique des eaux de la nappe a été moins importante. La présence des coliformes fécaux dans les points d'eau les plus proches du site de Pikine a montré que l'utilisation des eaux de la nappe à des fins domestiques (boisson, cuisson) pourrait constituer un risque pour la santé des consommateurs.

Le traitement des eaux usées brutes pourraient constituer une bonne alternative pour l'irrigation des champs. En effet,

les eaux usées contiennent non seulement plus de nutriments (N, P, K) que les eaux de la nappe (eaux de Céanes et de puits), mais elles sont moins salées.

Remerciements

Ce travail a été financé par le Fonds Nationale Suisse pour la Recherche Scientifique (projet N° 2070021-109689/1, catégorie Partenariats avec les Pays du Sud) et le Centre de Recherche pour le Développement Internationale (CRDI) du Canada (bourse Écopolis N° 103710-99906060-004) pour le financement de ce projet.

Bibliographie

- Akinbamijo, O. O., S. T. Fall et O. B. Smith, 2002, The production environment of the horticulture-livestock integration. Option in Ségambie urban agriculture. In *Advances in crop-livestock integration in West African cities*, ed. I. S. ITC (Gambie), CRDI (Canada), pp. 37-52.
- Bolster, C. H., S. L. Walker et K. L. Cook, 2006, Comparison of *Escherichia coli* and *Campylobacter jejuni* Transport in Saturated Porous Media. 10.2134/jeq2005.0224. *J. Environ. Qual.*, 35 (4), 1018-1025.
- Dasylyva, S., 2001, Les bas-fonds des sables dunaires de la région de Dakar : Potentialités agricoles et contraintes urbaines. Thèse de doctorat. Sorbonne-Panthéon. Université de Université Paris 1. pp. 405.
- Dièye, N. F. et J. Henzi, 2006, Caractérisation des sols cultivés dans le cadre de l'agriculture périurbaine de la région de Dakar, Sénégal. Master en Sciences Naturelles de l'Environnement. Université de Genève. Mémoire N° 134, pp. 135.
- Ensink, J. H. J., W. Van der Hoek, Y. Matsuno, S. Munir, et M. R. Aslam, 2002, Use of untreated wastewater in peri-urban agriculture in Pakistan : Risks and opportunities. International Water Management Institute. Report N° 64. Colombo, Sri Lanka. pp. 32.
- Faye, S. C., S. Faye, S. Wohnlich, et C. B. Gaye, 2004, An assessment of the risk associated with urban development in the Thiarye area (Senegal). *Environmental Geology*, 45, 312-322.
- Félix, J., 2006, Caractérisation des eaux d'arrosage, de leurs impacts sur l'environnement et techniques d'épuration extensive par lagunage (Dakar, Sénégal). Diplôme en Sciences Naturelles de l'environnement. Université de Genève et Lausanne. Mémoire N° 121, pp. 121.
- Hussain, I., L. Raschid, M. A. Hanjra, F. Marikar et W. Van der Hoek, 2002, Wastewater use in agriculture : Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. (With an extended list of bibliographical references), vol. 37, International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka, pp. 62.
- Kass, A., I. Gavrieli, Y. Yechieli, A. Vengosh et A. Starinsky, 2005, The impact of freshwater and wastewater irrigation on the chemistry of shallow groundwater : a case study from the Israeli Coastal Aquifer. *Journal of Hydrology*, 300 (1-4), 314-331.
- Majdoub, R., C. Côté, M. Labidi, K. Guay et M. Génèreux, 2003, Impact de l'utilisation des engrais de ferme sur la qualité microbiologique de l'eau souterraine. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, pp. 136.
- Mara, D. et S. Cairncross, 1991, Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaires et des excreta en agriculture et aquaculture. OMS. pp. 201.
- Mbaye, A., 1999, Production des légumes à Dakar : importance, contraintes et potentialités. In *Agriculture urbaine en Afrique de L'ouest*, ed. O. Smith, International Development research Centre. OHawa, pp. 56-66.
- Météo, 2008, Puviométrie du Sénégal. [En ligne] URL : <http://www.meteo-senegal.net/>. Consulté le 28 mars 2009.
- Ndiaye, M. L., 2009, Impacts sanitaires des eaux d'arrosage de l'agriculture urbaine de Dakar (Sénégal). Thèse de doctorat N° 4110. Faculté des sciences. Université de Genève. pp. 163.
- Ndiaye, M. L., A. Guèye-Girardet et H.-R. Pfeifer, 2006, Impacts des eaux usées sur l'évolution microbiologique des sols : étude de cas à Pikine Dakar-Sénégal. *Agrosol*, 17 (1), 33-38.
- Nordentoft, S., H. Christensen et H. Wegener, 1997, Evaluation of a fluorescence-labelled oligonucleotide probe targeting 23S rRNA for in situ detection of *Salmonella* serovars in paraffin- embedded tissue sections and their rapid identification in bacterial smears. *J. Clin. Microbiol.*, 35 (10), 2642-2648.
- OECD, 2003, Assessing microbial safety of drinking water : improving approaches and methods, IWA Publishing, pp. 291.
- OMS, 1992, Evacuation des eaux de surface dans les communautés à faible revenus, ed. O. M. d. I. Santé. Genève, pp. 97.
- Orji, M. U., H.C. Onuigbo et T.I. Mbata, 2005, Isolation of *Salmonella* from poultry droppings and other environmental sources in Awka, Nigeria. *International Journal of Infectious Diseases*, 9 (2), 86-89.
- Prüss-Üstün, A., R. Bos, F. Gore et J. Bartram, 2008, Safer water, better health : costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. , World Health Organization. Geneva, pp. 60.
- Raschid-Sally, L. et P. Jayakody, 2008, Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries-results from a global assessment, International Water Management Institute (IWMI), pp. 38.
- UN-Water, 2006, Coping with water scarcity : A strategic issue and priority for system-wide action, UN-Water.
- Van der Hoek, W., M. U. Hassan, J. H. J. Ensink, S. Feenstra, L., Raschid-Sally, S. Munir, R. Aslam, R. Hussain et Y. Matsuno, 2002, Urban wastewater : A valuable resource for agriculture: A case study from Haroonabad, Pakistan. International Water Management Institute. Report N° 63. Colombo, Sri Lanka. pp. 29.
- WHO, 2006, Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. In *Wastewater use in agriculture*, vol. 2, WHO. Geneva, pp. 222.