

Aptitudes À L'agriculture Des Eaux Souterraines Du Département d'Agboville (Sud-Est De La Côte d'Ivoire)

***Rodrigue Kotchi Orou
Gbombélé Soro***

Université Félix Houphouët BOIGNY, Côte d'Ivoire

Drissa Tanina Soro

Université Jean LOROUGNON GUEDE, Côte d'Ivoire

Abou Traoré

Université Félix Houphouët BOIGNY, Côte d'Ivoire

Rosine Marie N'guessan Fossou

Université Nangui ABROGOUA, Côte d'Ivoire

Nagnin Soro

Université Félix Houphouët BOIGNY, Côte d'Ivoire

doi: 10.19044/esj.2016.v12n21p81 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n21p81](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n21p81)

Abstract

In the department of Agboville, farmers are interested in the using of groundwater to improve the performance of their crops. But they didn't know the effects of this water on the crops without. The main objective of this study is to determine the quality of groundwater to prevent the risk of soil alkalinization and salinization in the department of Agboville. Hydrochemical analysis of 28 wells used for irrigation of crops was carried out. The dry residue (RS), the osmotic pressure (π), Sodium Absorption Ratio (SAR), the percentage of sodium exchange (ESP), salinity potential (SP), and the coefficient or the Kelly ratio (RK) were determined. Wilcox diagram was also applied for this study. The results show that groundwater department are soft and lightly mineralized with a low salinity. 75% of samples from groundwater have low salinity and 25% have an average salinity. The values of the Salinity Potential ($SP < 5$), Kelly Ratio ($RK < 1$) and SAR ($SAR < 10 \text{ méq/L}$) show that all sampled groundwater are good qualities for agriculture. According to Wilcox diagram, groundwaters are excellent quality for agriculture. The osmotic pressure (π), the dry residue (RS) and the conductivity values 75% of the sampled waters are excellent quality and 25% average quality for agriculture. Groundwaters from the department of Agboville have a low risk of alkalizing and can be

used in irrigation for most crops.

Keywords : Agboville, well water, irrigation, quality, salinity

Résumé

Les paysans dans le département d'Agboville s'intéressent à l'utilisation des eaux souterraines pour l'amélioration de leur rendement sans toutefois connaître ces effets sur leurs cultures. L'objectif principal de cette étude est de déterminer la qualité des eaux souterraines en vue de prévenir les risques d'alcalinisation et de salinisation des sols du département d'Agboville. Une analyse hydrochimique de 28 puits utilisés pour l'irrigation des cultures a été effectuée. Le Résidu Sec (RS), la Pression Osmotique (π), le Taux d'Absorption du Sodium (SAR), le pourcentage d'échange de sodium (ESP), la salinité potentielle (SP), l'indice de perméabilité (IP) et le coefficient ou le Ratio de Kelly (RK) ont été déterminés. Egalement, le diagramme de Wilcox a été utilisé. Les résultats montrent que les eaux souterraines du département sont douces et faiblement minéralisées et ont une salinité faible. 75% des eaux ont une salinité faible et 25% ont une salinité moyenne. Les valeurs de la Salinité Potentielle ($SP < 5$), du Ratio de Kelly ($RK < 1$) et du SAR ($SAR < 10$ méq/L) indiquent que toutes les eaux souterraines échantillonnées sont de bonnes qualités pour l'agriculture. Selon le diagramme de WILCOX toutes les eaux sont de qualité excellentes pour l'agricultre. La pression osmotique (π), du Résidu Sec (RS) et des valeurs de la conductivité ont montré que 75% des eaux échantillonnées sont d'excellentes qualités et 25% de qualité moyenne pour l'agriculture. Ces eaux présentent un faible danger d'alcalinisation et peuvent donc être utilisées en irrigation pour la plupart des espèces cultivées.

Mots-clés : Agboville, eaux de puits, irrigation, qualité, salinité

Introduction

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour plusieurs activités humaines. Elle peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides ou relativement en abondance dans les zones forestières. L'agriculture, de façon générale est une grande consommatrice d'eau et surtout lorsqu'elle est pratiquée en saison sèche et vient souvent à manquer. Pour pallier cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été une technique de maîtrise de l'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation (Bouaroudj, 2012). La qualité des eaux d'irrigation varie en fonction des activités anthropiques des sols et de son usage. Il est certain

que l'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines accentuera les contraintes sur cette ressource (Gouaidia, 2008). Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. Des études ont été effectuées dans certains pays et ont traité la qualité des eaux souterraines et de surface à utiliser en agriculture. En Algérie, Douaoui et Hartani, (2007); Bouhlassa *et al.*, (2008); Rouabhia et Djabri, (2010) ont étudié la qualité des eaux et ont montré que les pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité. Ben Abbou *et al.*, (2014) ont indiqué que la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux utilisées pour l'irrigation des cultures dans la ville de Taza au Maroc ne répond pas toujours aux critères d'utilisation de ces eaux dans l'irrigation. En Côte d'Ivoire, les travaux de Oga *et al.*, (2015) ont montré que 67% des eaux souterraines échantillonnées dans la région de Katiola sont propices à l'irrigation, à l'exception de quelques points situés dans le sud-est. Dans la zone d'étude, les cultures contre saison sont les techniques culturales les plus abondantes ces deux dernières décennies. Elles permettent l'amélioration des conditions de vie des populations en zone rurale. Cette technique est consommatrice d'eaux et se fait en saison sèche où les cours d'eaux interstitielles sont les plus importants dans la zone d'étude. Dans cette saison, la plupart de ces cours d'eau tarissent. Les paysans dont les exploitations sont éloignées des cours d'eaux permanents ont recourt aux eaux souterraines qu'ils captent à l'aide des puits. Ces paysans s'intéressent à l'utilisation de ces eaux pour l'amélioration de leur rendement sans toutefois connaître leurs effets sur leurs cultures. Cette étude a pour objectif d'étudier les risques d'alcalinisation et de salinisation des sols du département d'Agboville dans le sud-est de la Côte d'Ivoire à partir des eaux d'irrigation. Les critères comme le Résidu Sec (RS), la pression osmotique (π), le taux d'absorption du sodium (SAR); le pourcentage d'échange de sodium (ESP), la salinité potentielle (SP) et le diagramme de Wilcox ont été utilisés pour décrire le pouvoir d'alcalinisation des eaux.

Présentation de la zone d'étude

Situation géographique

Situé dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5°35'N et 6°15'N, et les longitudes 3°55'W et 4°40'W, le département d'Agboville couvre une superficie d'environ 3850 km² (figure 1). Le département d'Agboville est principalement habité par les Abbeys et les Krobous. La population a été estimée en 2014 à environ 292 109 habitants, avec une densité de 76 habitants/km² (INS, 2014). Cette population est essentiellement rurale et l'agriculture constitue la principale activité. On y

cultive surtout le café, le cacao, l'hévéa, le palmier à huile et les cultures vivrières telles que l'igname, le manioc, la banane plantain, la banane douce, le riz, etc. Son couvert végétal est marqué par le type ombrophile pour le tiers sud et le reste par le type mésophile dominé par les tulipiers du Gabon et les fromagers (Dembélé 1989 *in* Ahoussi, 2008).

Contexte géologique et hydrogéologique du département d'Agboville

- **Contexte géologique**

La géologie de la zone d'étude est constituée de formations birimiennes et éburnéennes auxquelles sont associées des auréoles métamorphisées (Ahoussi, 2008). Les formations birimiennes sont des schistes, des quartzites, des métaarénites et des métasiltstones. Les formations éburnéennes sont essentiellement composées de granites à deux micas, de granites à muscovite, de granites à biotite, de gneiss et des roches filoniennes (pegmatites et filons de quartz). Les formations qui affleurent dans la région sont attribuées au Paléoproterozoïque et définissent le cycle de dépôt birimien. Leur origine est essentiellement sédimentaire (Papon, 1973 ; Tapsoba-Sy, 1995 et Ahoussi, 2008).

- **Contexte hydrogéologique**

Les aquifères des altérites se développent dans les formations argilo-sableuses de la couche d'altération issue de l'altération et du lessivage des formations géologiques (roches magmatiques et métamorphiques). L'épaisseur des altérites dans le département d'Agboville varie en moyenne entre 4 et 53 m (Orou, 2008). Il s'agit d'aquifères captés par les puits paysans et modernes dont la profondeur n'excède pas 30 m (Biémi, 1992). Ces puits sont les plus exploités dans les zones rurales pour leur utilisation en irrigation car ils sont faciles d'accès (profondeur moins de 15 m) (Ahoussi, 2008). Les aquifères de fractures constituent des zones potentielles susceptibles de contenir d'importantes réserves d'eau souterraine capables d'approvisionner les populations rurale en eau potable. Dans la zone d'étude, ces aquifères sont interceptés par de nombreux forages et leur existence est liée à l'importance des fractures ouvertes.

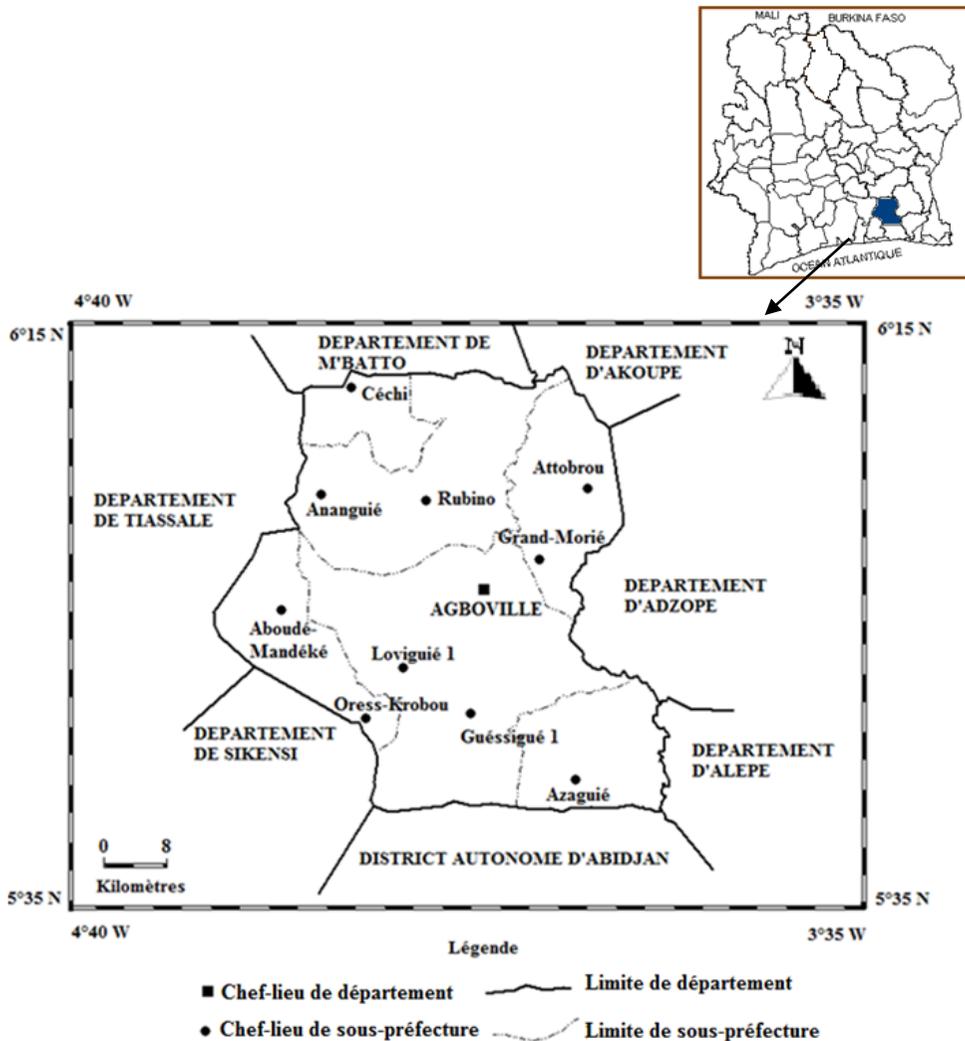


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

- **Contexte climatique de la zone d'étude**

Le département d'Agboville est soumis à un climat équatorial de transition et caractérisé par 4 saisons dans l'année dont 2 saisons pluvieuses (avril à juillet et septembre à octobre) et 2 saisons sèches (novembre à mars et août à septembre) (Dembélé, 1989). C'est une zone très humide où les précipitations interannuelles sont supérieures à 1500 mm (Ahoussi, 2008). Le mois le plus chaud est celui de mars, avec 28,5°C de moyenne et le mois d'août est le plus froid, avec 24,5°C.

Matériel et méthodes

Matériel et données

Le matériel utilisé est essentiellement constitué de données cartographiques et hydrochimiques.

Données cartographiques

Pour mener à bien cette étude, les cartes topographiques et géologiques du degré carré d'Abidjan, de Dimbokro et de Grand-Bassam à l'échelle 1/200 000 ont été utilisées respectivement pour localiser et servir de support à la reconnaissance des formations géologiques de la zone d'étude.

Données hydrochimiques

Le rapport des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés constituent les données hydrochimiques. L'échantillonnage a été réalisé sur 28 puits traditionnels dans le département d'Agboville. Dans le cadre de cette étude, deux campagnes d'échantillonnage ont été menées en saison pluvieuse (19 au 25 septembre 2014) et en saison sèche (27 février au 04 mars 2015). La température, le pH, le TDS, l'Eh, l'oxygène dissous, la turbidité, la salinité et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés *in situ* avec un pH-mètre Hach HQ11D et un conductivimètre Hanna Instruments HI 98360. Les paramètres chimiques qui ont été analysés au laboratoire du Centre Ivoirien Anti-pollution (CIAPOL) selon les techniques de Rodier (2009) et les normes AFNOR sont Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} NO_2^- et NO_3^- .

Méthodes

Méthode d'échantillonnage et d'analyse

Les échantillons d'eau ont été prélevés selon les techniques de Rodier (2009) et les normes AFNOR. Les échantillons d'eau ont été ensuite transportés dans une glacière à 4 °C au laboratoire pour analyse. L'échantillonnage est réalisé à l'aide d'une pissette constituée d'un seau muni d'une corde.

Méthode de traitement des données

Il existe plusieurs critères de contrôle de qualité des eaux destinée à une activité agricole. Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé les 6 paramètres de qualité dont le Résidu Sec (RS), la pression osmotique (π), le taux d'absorption du sodium (SAR), le pourcentage d'échange de sodium (ESP) et la salinité potentielle (SP). A côté de ces critères, nous avons utilisé le diagramme de Wilcox. Ces méthodes décrivent le pouvoir alcalinisant des eaux. Elles sont utilisées en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de

salinisation des sols. Pour contrôler les effets négatifs des eaux d'irrigation sur les sols et les plantes.

- **Résidu Sec (RS) et Pression Osmotique (π)**

L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production (N'diaye et *al.*, 2010 ; Rouabhia et Djabri, 2010). Elle est généralement exprimée par la minéralisation globale ou par la conductivité électrique (CE). Cette dernière est liée au résidu sec (RS) et à la pression osmotique (π) par les équations 1 et 2 utilisées par Rouabhia et Djabri (2010).

$$\text{RS (mg/L)} = 0,7 * \text{CE } (\mu\text{S/cm}) \quad (1)$$

$$\pi \text{ (atm)} = 0,00036 * \text{CE} \quad (2)$$

- **Taux d'adsorption du sodium (SAR)**

Le risque d'alcalinité est généralement exprimé par le taux d'adsorption du sodium (SAR). Cet paramètre quantifie la proportion des ions sodium (Na^+), calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dans un échantillon d'eau. Il faut signaler que le Na^+ joue un rôle négatif dans le sol, parce qu'il réagit avec le sol en diminuant sa perméabilité et donc en freinant la circulation des eaux. Sa présence dans le sol augmente le volume des particules argileuses, entraînant ainsi une obstruction des pores entre les particules. Quand un sol est riche en Na^+ et que son anion dominant est CO_3^{2-} , le sol est dit sol alcalin. Si un sol est riche en Na^+ et SO_4^{2-} , ou en Cl^- , on parle de sol salé. Cependant, dans les deux cas, les végétaux supporteront moins un tel sol. Le calcul du SAR permet d'apprécier la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération de ses qualités physiques. Le taux d'adsorption du sodium (SAR) a été calculé à partir de l'équation 3 proposée par Richard (1954) :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}} \quad (3).$$

Dans cette formule du SAR, les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en méq/L.

- **Pourcentage de sodium : (%Na)**

Il est basé sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de sodium par rapport aux autres sels dans l'eau (Wilcox, 1955). Wilcox préconise aussi de tenir compte de la conductivité, c'est-à-dire de la salinité de l'eau, du danger d'alcalinisation des sols et des concentrations des éléments nocifs pour les plantes, notamment le bore. En effet, les teneurs très élevées en sels, sodium et bore sont nuisibles aux plantes. Pour cette raison, Wilcox propose 5 classes d'eau pour l'agriculture en fonction des 3 éléments que sont: la conductivité, le $\% \text{Na}^+$ et le bore. Le

pourcentage de sodium est calculé par la formule suivante (équation 4) :

$$Na (\%) = 100 \times \frac{Na + K}{Ca + Mg + Na + K} \quad (4)$$

Dans cette formule, les concentrations de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ sont exprimées en méq/L.

- **Pourcentage d'échange de sodium (ESP)**

La concentration du sodium dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile. Le pourcentage d'échange de sodium (ESP) est calculé par l'équation 5 (Rouabhia et Djabri, 2010).

$$ESP = 100 \times \frac{[b(SAR) - a]}{1 + [b(SAR) - a]} \quad (5)$$

Où $a = 0,0126$ et $b = 0,01475$.

- **Salinité potentielle**

La salinité potentielle de Donneen est calculée par la formule de l'équation 6:

$$SP = Cl + (SO_4^{2-})^{1/2} \quad (6)$$

Dans ces formules les teneurs des différents ions sont exprimées en méq/L.

- **Ratio ou coefficient de Kelly (RK)**

Le coefficient de Kelly est donné par l'expression suivante (équation 7) :

$$RK = \frac{Na}{Ca + Mg} \quad (7)$$

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sont exprimées en méq/L (Kelly, 1957 and 1963). La qualité de l'eau est bonne pour l'irrigation, lorsque le ratio de Kelly est inférieur à 1.

Résultats et discussion

Résultats

Résultats des mesures physico-chimiques des eaux

Les résultats des différentes analyses physico-chimiques sur les eaux souterraines du département d'Agboville sont consignés dans le Tableau 1. Si l'on considère les valeurs moyennes exprimées en méq/L, l'ordre d'abondance à retenir pour les anions et les cations est respectivement le suivant : $Cl^- > HCO_3^- > NO_3^- > SO_4^{2-}$ et $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$. Cela signifie que dans les eaux étudiées le Ca^{2+} et le Cl^- sont les ions les plus importants. Les eaux appartiennent au faciès chloruré calcique. Les conductivités mesurées varient de 10 à 480 $\mu S/cm$ en saison pluvieuse, avec une moyenne de 189,3 $\mu S/cm$. En saison sèche, la conductivité est comprise

entre 50 et 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de 211,96. 92,86% des points d'eaux ont une conductivité inférieure à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dans l'ensemble, les eaux souterraines de la région sont douces et faiblement minéralisées. Cependant elles sont plus minéralisées en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

Tableau 1 : Résumé des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.

Paramètres	Unités	Octobre 2014 (saison pluvieuse)				Mars 2015 (saison sèche)				Moyenne
		Min	Max	Moy	Ec	Min	Max	Moy	Ec	
T	$^{\circ}\text{C}$	23	28,7	26,35	1,57	25,4	30,1	27,52	1,34	26,93
pH		4,7	8,2	6,14	0,74	4,76	8,9	6,31	0,92	6,23
TDS	mg/L	5	200	85,89	54,51	20	230	97,53	52,83	91,71
CE	$\mu\text{S}/\text{cm}$	10	480	189,28	126,10	50	520	211,96	122,84	200,62
Ca^{2+}	$\text{még}/\text{L}$	0,12	0,91	0,48	0,23	0,25	1,04	0,57	0,21	0,52
Mg^{2+}	$\text{még}/\text{L}$	0,064	0,62	0,26	0,16	0,11	0,76	0,31	0,16	0,29
Na^{+}	$\text{még}/\text{L}$	0,05	0,47	0,20	0,10	0,09	0,54	0,23	0,11	0,22
K^{+}	$\text{még}/\text{L}$	0,02	0,22	0,09	0,05	0,01	0,26	0,11	0,06	0,10
Cl^{-}	$\text{még}/\text{L}$	0,087	0,80	0,38	0,19	0,14	0,85	0,44	0,19	0,41
SO_4^{2-}	$\text{még}/\text{L}$	0,04	0,41	0,18	0,12	0,08	0,5	0,23	0,12	0,21
HCO_3^{-}	$\text{még}/\text{L}$	0,02	0,70	0,27	0,15	0,06	0,85	0,32	0,18	0,30
NO_3^{-}	$\text{még}/\text{L}$	0,003	0,49	0,20	0,10	0,02	0,40	0,25	0,08	0,23

Ec : Ecart-type ; **CE** : Conductivité électrique ; **TDS** : matières totales dissoutes

Etude de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Les résultats des différents paramètres de qualité de l'eau pour l'usage agricole dans la zone d'étude sont consignés dans les Tableaux 2 et 3.

Tableau 2 : Résultats des différents paramètres de qualité de l'eau pour l'usage agricole en octobre 2014 (saison pluvieuse).

Localités	RS (mg/L)	π (atm)	SAR ($\text{még}/\text{L}$)	%Na	ESP	SP ($\text{még}/\text{L}$)	MT (g/l)	KR ($\text{még}/\text{L}$)
Yapo Kpa	28	0,01	0,30	41,05	-0,82	0,34	0,033	0,41
Yapo Kpa 1	28	0,01	0,31	42,96	-0,81	0,40	0,038	0,44
Grand Yapo	147	0,07	0,42	32,21	-0,65	0,90	0,088	0,34
Grand Yapo1	77	0,04	0,23	23,23	-0,92	0,61	0,061	0,20
Boka Oho	245	0,13	0,56	29,32	-0,43	1,27	0,133	0,27
Offo Mpo	161	0,08	0,51	35,10	-0,51	1,06	0,112	0,37
Offo Mpo	336	0,17	0,52	31,57	-0,50	1,41	0,145	0,31
Abouké K.	70	0,04	0,20	20,94	-0,98	0,62	0,059	0,18
Abouké K. 1	126	0,07	0,25	23,30	-0,89	0,78	0,080	0,20
Abouké K. 2	21	0,01	0,18	28,39	-0,99	0,48	0,022	0,33
Abouké K. 3	238	0,12	0,44	28,19	-0,62	1,17	0,14	0,26
Bethel	294	0,15	0,31	23,68	-0,80	1,27	0,098	0,22
Djomonpo	168	0,09	0,27	23,70	-0,87	1,03	0,101	0,19
Adjobi	147	0,07	0,40	31,95	-0,69	0,87	0,09	0,32
Awandji	14	0,01	0,16	30,28	-1,03	0,31	0,023	0,28
Cpt Boka	84	0,04	0,30	32,31	-0,81	0,64	0,053	0,33
Cpt Boka	245	0,13	0,33	25,90	-0,77	0,94	0,083	0,25
Offoriguie	7	0,004	0,16	29,40	-1,04	0,29	0,021	0,29
Offoriguie 1	70	0,036	0,30	29,64	-0,82	0,71	0,06	0,30

Abbe Begnini	21	0,011	0,32	39,71	-0,79	0,34	0,033	0,46
Abbe Begnini 1	154	0,08	0,30	27,56	-0,82	0,78	0,072	0,26
Azaguié N'broumé	98	0,05	0,28	26,40	-0,85	0,60	0,06	0,26
Elevis	105	0,054	0,25	24,10	-0,90	0,58	0,061	0,22
Azaguié Ahoua	119	0,06	0,29	26,05	-0,84	0,54	0,054	0,26
Azaguié Ahoua 1	189	0,10	0,30	27,34	-0,82	0,95	0,081	0,27
Azaguié Ahoua 2	133	0,07	0,31	28,16	-0,81	0,75	0,070	0,26
Abbe Begnini	168	0,09	0,27	30,82	-0,86	1,01	0,081	0,31
Sokoura	217	0,11	0,40	27,91	-0,68	1,20	0,12	0,26
Min	7	0,004	0,16	20,94	-1,04	0,29	0,021	0,18
Max	336	0,17	0,56	42,96	-0,43	1,41	0,145	0,46
Moyenne	132	0,07	0,32	29,32	-0,80	0,78	0,074	0,30
Ecart type	88,30	0,04	0,10	5,36	0,15	0,32	0,03	0,07

MT : minéralisation totale

Tableau 3 : Résultats des différents paramètres de qualité de l'eau pour l'usage agricole en mars 2015 (saison sèche).

Localités	RS (mg/L)	π (atm)	SAR (még/L)	%Na	ESP	SP (még/L)	MT (g/l)	KR (még/L)
Yapo Kpa	77	0,04	0,22	25,05	-0,94	0,62	0,05	0,21
Yapo Kpa 1	63	0,03	0,21	22,22	-0,95	0,67	0,06	0,19
Grand Yapo	217	0,11	0,41	27,91	-0,66	1,15	0,117	0,26
Grand Yapo 1	70	0,036	0,23	23,36	-0,92	0,72	0,061	0,20
Boka Oho	252	0,13	0,30	26,06	-0,84	0,90	0,090	0,26
Offo Mpo	154,7	0,08	0,60	39,41	-0,38	1,14	0,123	0,43
Offo Mpo	364	0,19	0,57	30,76	-0,43	1,50	0,168	0,30
Aboude K.	84	0,04	0,39	31,03	-0,69	0,80	0,077	0,33
Aboude K. 1	140,7	0,07	0,36	25,94	-0,73	0,87	0,095	0,24
Aboude K. 2	56	0,03	0,17	16,83	-1,01	0,65	0,036	0,17
Aboude K. 3	245	0,13	0,39	26,01	-0,70	1,27	0,136	0,23
Bethel	315	0,16	0,34	24,07	-0,77	1,40	0,109	0,23
Djomonpo	170,1	0,09	0,28	24,54	-0,86	1,15	0,121	0,17
Adjobi	153,3	0,08	0,42	29,52	-0,64	0,90	0,096	0,30
Awandji	49	0,02	0,23	25,10	-0,93	0,53	0,049	0,23
Cpt Boka	161	0,08	0,45	32,12	-0,60	0,98	0,099	0,33
Cpt Boka	175	0,09	0,47	33,04	-0,56	1,02	0,102	0,34
Offoriguié	35	0,02	0,26	28,90	-0,89	0,43	0,039	0,30
Offoriguié 1	63	0,03	0,31	32,00	-0,80	0,57	0,052	0,32
Abbe Begnini	70	0,04	0,28	28,05	-0,85	0,66	0,058	0,26
Abbe Begnini 1	167,3	0,09	0,33	27,72	-0,78	1,00	0,085	0,26
Azaguié N'broumé	101,5	0,05	0,30	25,80	-0,83	0,70	0,068	0,25
Elevis	56	0,03	0,25	23,80	-0,89	0,56	0,058	0,23
Azaguié Ahoua	129,5	0,07	0,34	29,15	-0,77	0,65	0,063	0,30
Azaguié Ahoua 1	259	0,13	0,44	27,61	-0,61	1,56	0,154	0,25
Azaguié Ahoua 2	140	0,07	0,30	27,76	-0,82	0,73	0,068	0,26
Abbe Begnini	148,4	0,08	0,40	31,95	-0,67	1,11	0,096	0,33
Sokoura	238	0,12	0,35	24,95	-0,74	1,14	0,128	0,22
Min	35	0,02	0,17	16,83	-1,01	0,43	0,036	0,17
Max	364	0,19	0,6	39,41	-0,38	1,56	0,168	0,43
Moyenne	148,4	0,08	0,34	27,52	-0,76	0,91	0,09	0,26
Ecart type	85,99	0,04	0,10	4,25	0,15	0,30	0,03	0,06

MT : minéralisation totale

Résidu Sec (RS) et pression osmotique (π)

La pression osmotique et le Résidu Sec varient en fonction de la conductivité électrique. Les classes sont les mêmes que celles de la conductivité électrique des eaux à usage agricole (tableau 4). Le RS des eaux souterraines varie de 35 à 364 mg/L, avec une moyenne de 148,4 en saison sèche et en saison pluvieuse, il oscille entre 7 et 336 mg/L, avec une moyenne de 132 mg/L. La pression osmotique quant à elle est comprise entre 0,004 et 0,17 atm avec une moyenne de 0,07 atm en saison pluvieuse et en saison sèche, la pression osmotique varie de 0,02 à 0,19 atm, avec une moyenne de 0,08 atm. En saison pluvieuse, 75% des eaux souterraines échantillonnées sont caractérisées par une faible salinité et 25% ont une salinité moyenne. 67,86% ont une faible salinité et 32,14% ont une salinité moyenne en saison sèche. La salinité est plus importante en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

Tableau 4 : Qualité de l'eau en agriculture en fonction du RS et π

	Classe	RS (mg/l)	π (atm)	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux
Octobre 2014	C1	< 175	< 0,09	eau à faible salinité	75%
	C2	175 < RS < 525	0,09 < π < 0,27	eau à salinité moyenne	25%
Mars 2015	C1	< 175	< 0,09	eau à faible salinité	67,86%
	C2	175 < RS < 525	0,09 < π < 0,27	eau à salinité moyenne	32,14%

Taux d'Absorption du Sodium (SAR)

Le SAR des eaux souterraines varie de 0,17 à 0,6 méq/L, avec une moyenne de 0,34 méq/L en saison sèche et en saison pluvieuse, il oscille entre 0,16 et 0,56 méq/L, avec une moyenne de 0,32 méq/L. Les valeurs du SAR calculées permettent d'isoler une seule classe d'eau pour les deux saisons : eau d'excellente qualité, à faible danger d'alcalinisation (tableau 5).

Tableau 5 : Qualité de l'eau en agriculture en fonction du SAR

	Classe	Valeur du SAR	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux
Octobre 2014 (Saison pluvieuse)	S1	< 10	eau d'excellente qualité, à faible danger d'alcalinisation	100%
Mars 2015 (Saison sèche)	S1	< 10		100%

Les valeurs de la conductivité donnent lieu à deux (2) classes : eau à faible salinité et eau à salinité moyenne (tableau 6). En saison pluvieuse, 75% des eaux souterraines échantillonnées sont caractérisées par une faible salinité et 25% ont une salinité moyenne. 67,86% des eaux ont une faible salinité et 32,14% ont une salinité moyenne en saison sèche. La salinité est

plus importante en saison sèche qu'en saison pluvieuse. En tenant compte de l'évolution de la conductivité par rapport au SAR, les eaux échantillonnées appartiennent à deux classes : C1S1 et C1S2 (tableau 6). Les eaux souterraines échantillonnées sont utilisables pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées et peuvent être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation à 75% en saison pluvieuse et 67,86% en saison sèche. Par contre, 25% des eaux souterraines en saison pluvieuse et 32,14% en saison sèche sont utilisables pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées, mais l'on doit veiller au lessivage difficile dans les sols peu perméables, et au drainage.

Tableau 6 : Qualité des eaux pour l'irrigation à partir de l'évolution de la conductivité par rapport au SAR

	Classe	Conductivité	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux
Octobre 2014 (Saison pluvieuse)	C1	< 250 $\mu\text{s/cm}$	eau à faible salinité	75%
	C2	250 < C < 750 $\mu\text{s/cm}$	eau à salinité moyenne	25%
Mars 2015 (Saison sèche)	C1	< 250 $\mu\text{s/cm}$	eau à faible salinité	67,86%
	C2	250 < C < 750 $\mu\text{s/cm}$	eau à salinité moyenne	32,14%
Caractéristiques				
Octobre 2014 (Saison pluvieuse)	C1S1			75%
	C2S1			25%
Mars 2015 (Saison sèche)	C1S1			67,86
	C2S1			32,14
C1S1	Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation			
C2S1	Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées, mais veiller au lessivage, difficile dans les sols peu perméables, et au drainage			

Pourcentage de sodium : (%Na)

Dans notre étude le bore n'ayant pas été dosé, nous nous intéressons qu'à la conductivité et %Na⁺ (Tableau 7). En saison pluvieuse, le pourcentage de sodium des eaux échantillonnées varie de 20,94% à 42,96%, avec une moyenne de 29,32%. En saison sèche, le pourcentage de sodium oscille entre 16,83 % à 39,41% avec une moyenne de 27,52%. Le diagramme de Wilcox relatif au pourcentage de sodium et à la conductivité montre que 100% des eaux souterraines échantillonnées en saison sèche et en saison pluvieuse tombent dans la classe des eaux d'excellentes qualités pour l'agriculture (figures 3 et 4).

Tableau 7 : Qualité des eaux pour l'irrigation à partir de l'évolution du %Na⁺

	Classe	% Na	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
Octobre 2014 (Saison pluvieuse)	C1	< 20	eau de qualité excellente pour l'agriculture	0
	C2	20 < %Na < 40	eau de bonne qualité pour l'agriculture	92,86
	C3	40 < %Na < 60	eau de qualité acceptable pour l'agriculture	7,14
Mars 2015 (Saison sèche)	C1	< 20	eau de qualité excellente pour l'agriculture	3,57
	C2	20 < %Na < 40	eau de bonne qualité pour l'agriculture	96,43
	C3	40 < %Na < 60	eau de qualité acceptable pour l'agriculture	0

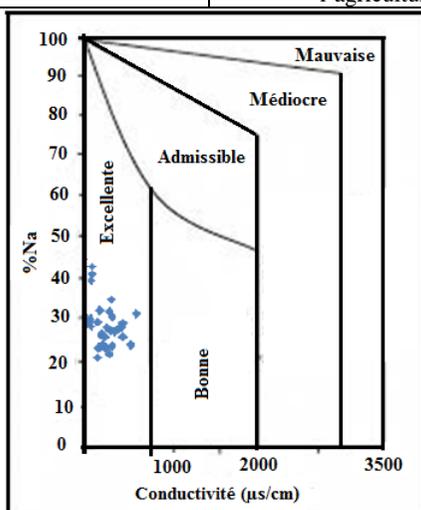


Figure 3 : Diagramme de Wilcox pour la classification des eaux souterraines du département d'Agboville en saison pluvieuse.

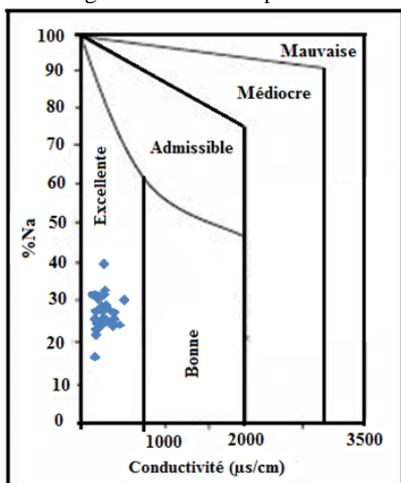


Figure 4 : Diagramme de Wilcox pour la classification des eaux souterraines du département d'Agboville en saison pluvieuse.

Pourcentage d'échange de sodium (ESP)

Les valeurs d'ESP des eaux échantillonnées dans le département d'Agboville varient de -1,04 à -0,43% en saison pluvieuse et en saison sèche, elles sont comprises entre -1,01 et -0,38% (tableaux 2 et 3). Toutes les valeurs d'ESP sont négatives et montrent une très faible teneur du sodium dans les eaux étudiées. Par conséquent, tous les échantillons d'eaux sont excellents pour l'irrigation des plantes sans risque d'alcalinisation ($\text{pH} < 8,5$) et de sodicité des sols.

Salinité Potentielle (SP)

Les valeurs de SP de la zone d'étude varient de 0,29 à 1,41 méq/L en saison pluvieuse (octobre 2014) avec une moyenne de 0,78 méq/L et en saison sèche (mars 2015), elles sont comprises entre 0,43 et 1,56 méq/L avec une moyenne de 0,91 méq/L (tableaux 2 et 3). En saison sèche comme en saison pluvieuse, toutes les valeurs de SP des eaux souterraines sont inférieures à 5. Ces eaux sont de bonnes à excellentes qualités pour l'agriculture (tableau 8).

Tableau 8 : Classification des eaux souterraines basée sur la Salinité Potentielle ou Effective

	Classe	SP	Pourcentage des eaux (%)
Octobre 2014 (Saison pluvieuse)	Bonne à excellente	< 5	100
Mars 2015 (Saison sèche)	Bonne à excellente	< 5	100

Ratio de Kelly (RK)

Les valeurs de RK des eaux varient de 0,18 à 0,46 méq/L en saison pluvieuse (octobre 2014), avec une moyenne de 0,30 méq/L et en saison sèche (mars 2015), elles sont comprises entre 0,17 et 0,43 méq/L, avec une moyenne de 0,26 méq/L (tableaux 2 et 3). En saison sèche comme en saison pluvieuse, les valeurs de RK obtenues sont inférieures à 1 par conséquent toutes les eaux souterraines de la zone d'étude appartiennent à la classe des eaux de bonnes qualités pour l'irrigation (Tableau 9).

Tableau 9 : Classification des eaux souterraines basée sur le RK

	RK	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
Octobre 2014 (Saison pluvieuse)	< 1	l'eau est bonne pour l'irrigation	100
Mars 2015 (Saison sèche)	< 1	l'eau est bonne pour l'irrigation	100

Discussion

Dans le département d'Agboville, les eaux souterraines échantillonnées ont une salinité faible à moyenne. Cette salinité augmente en saison sèche par rapport à la saison pluvieuse. En effet, pendant la période sèche, les fortes températures favorisent l'évaporation des eaux de

surface et l'évapotranspiration des eaux des puits de faible profondeur, ce qui se traduit souvent par une augmentation progressive de la salinité des solutions de la zone non saturée (Benziane *et al.*, 2012 et Gouadi *et al.*, 2012). Cette augmentation de la salinité est très faible par rapport à celle qui a été aussi observée par Benziane *et al.*, (2012) dans le bassin de la Grande Sebkhah d'Oran d'Algérie où en période d'étiage, l'élévation de la température favorise une augmentation progressive de la salinité des solutions de la zone non saturée. Cela s'explique par l'écart de température entre la Côte d'Ivoire et l'Algérie qui sont extrêmement grands. Dans notre étude, cette faible salinité est traduite par les faibles valeurs de la pression osmotique et du résidu sec (Anonyme, 2009). En outre, ces eaux sont caractérisées par une faible conductivité. En effet, l'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée par la capillarité et l'osmose (Mengel et Kirkby, 1982). La salinité est d'une importance majeure car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et crée des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique et réduisent le rendement des cultures. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration (Anonyme, 2009). Cette sécheresse physiologique peut conduire également à l'intoxication des plantes lorsque la salinité est importante entraînant ainsi une absorption déséquilibrée des cations (Katerji, 1995). Ce phénomène n'est pas observé dans notre étude à cause des faibles valeurs de la pression osmotique. Cependant, les travaux de Snoussi et Halitim en 1998 ont montré que la faible production des cultures a été attribuée à une forte pression osmotique qui a inhibé l'absorption de l'eau par les plantes. La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS), le ratio ou coefficient de Kelly (RK) et le pourcentage de sodium (%Na). Ces paramètres décrivent la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium. Le calcium et le magnésium peuvent être tolérés même en quantité relativement grande dans les eaux d'irrigation. Les faibles valeurs de ces paramètres montrent que le sodium n'est pas en excès dans les eaux du département d'Agboville et que le risque de défolier des plantes sensibles par un système d'aspersion est très faible (Couture, 2004 et Bouaroudj, 2012). L'eau avec un ratio d'absorption du sodium se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium (Couture, 2004). Dans nos travaux, toutes les eaux étudiées ont un SAR inférieur à 6 et représentent des eaux d'excellentes qualités, à faible danger d'alcalinisation des sols dans la zone d'étude. La géologie de la zone d'étude favorise la prédominance du calcium et du magnésium sur le sodium. En effet, le calcium est issu de l'altération

des roches cristallines et de l'hydrolyse des minéraux silicatés. La proportion assez importante d'anorthite dans les plagioclases, variété la plus facilement altérable (Faillat et Drogue, 1993) justifie les fortes concentrations de Ca^{2+} . Les ions Mg^{2+} sont issus de la décomposition des minéraux ferro-magnésiens tels que la biotite et l'amphibole présentes dans les roches de la région. Cependant, les plantes particulièrement sensibles au sodium, telles que certaines espèces de fruits à noyau, arbres, avocats, peuvent dangereusement accumuler du sodium dans leurs feuilles.

En tenant compte des valeurs de la conductivité par rapport au SAR, les eaux sont représentées principalement dans les classes C1S1 et C2S1 qui correspondent respectivement à l'eau de faible et moyenne salinité. Ces eaux présentent donc un faible risque d'alcalinisation des sols. Ces résultats sont en accord avec ceux de Biémi (1992), Soro (2002) et Oga et *al.*, (2015) respectivement dans les régions de la Haute Marahoué, Grand Lahou et de Katiola. Les eaux de la classe C1S1 sont sans danger pour la plupart des cultures et peuvent être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation. Celles de la classe C1S2 sont adaptées pour les plantes avec une faible tolérance. En l'absence d'un système de drainage adéquat, l'on doit veiller au lessivage difficile dans les sols peu perméable pour toute utilisation permanente des eaux de la classe C1S2 et pourraient conduire à une salinisation progressive et provoquer une baisse significative de la productivité agricole. Ce lessivage difficile est confirmé par les valeurs de SP qui sont toutes inférieures à 5. Cette faible perméabilité des sols est semblable à celle observée en Inde par Barick et Ratha en 2014 où 67 % des points d'eau échantillonnés ont des valeurs de SP inférieures à 5. La bonne qualité de ces eaux pour l'irrigation est confirmée par les valeurs de RK obtenues qui sont toutes inférieures à 1 méq/L. Ces observations sont similaires à celles de Barick et Ratha (2014) qui ont indiqué que tous les eaux échantillonnées sont de bonne qualité pour l'irrigation, sauf cinq échantillons dont l'échantillon de Mankarchuan qui a la valeur de RK la plus élevée (4,34 méq/L). Ces eaux sont donc inaptes pour l'irrigation. Par rapport au %Na, les eaux souterraines étudiées en saison pluvieuse sont de bonne à qualité acceptable pour l'agriculture et en saison sèche, elles sont de qualité excellente à bonne pour l'agriculture. Dans l'ensemble, ces eaux sont de bonnes qualités pour l'irrigation pour les deux saisons. En tenant compte de la conductivité et de %Na, les eaux souterraines appartiennent toutes aux domaines des eaux d'excellente qualité pour l'agriculture selon Wilcox (1948). Cette qualité est due au fait que le sodium n'est pas le cation dominant. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Le principal problème avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et

provoque la dispersion des particules du sol (Todd, 1980). Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui rend le sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau. Même si le risque de sodicité et de salinité des sols n'a pas été observé dans notre étude, des études l'ont indiqué dans d'autres régions. Les travaux de Rouabhia et Djabri en 2010 ont montré que les eaux de mauvaise qualité sont salées et chargées et ont des conductivités élevées. Les études effectuées par Gouaidia et *al.*, (2012) en Algérie indiquent qu'il y a un grand risque de salinisation des sols par l'utilisation des eaux à minéralisation élevée. Au Maroc, dans la communauté des Mzamza, les eaux souterraines constituent un danger d'alcalinisation du sol (El Asslouj et *al.*, 2007). Dans le département en Côte d'Ivoire, les études ont montré qu'il n'y a pas de risque de salinisation et d'alcalinisation des sols.

Conclusion

Dans cette étude, nous avons évalué la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation dans le département d'Agboville à l'aide de 6 paramètres de qualité des eaux destinée à une activité agricole dont le Résidu Sec (RS), la pression osmotique (π), le taux d'absorption du sodium (SAR), le pourcentage d'échange de sodium (ESP) et la salinité potentielle (SP). En plus des critères, nous avons utilisé le diagramme de Wilcox. Les résultats de l'étude montrent que les eaux souterraines sont douces et faiblement minéralisées. Les eaux souterraines échantillonnées sont caractérisées par une salinité faible (75%) à moyenne (25%). Selon la valeur moyenne de la Salinité Potentielle ($SP < 5$), du Ratio de Kelly ($RK < 1$) et du SAR (< 10 méq/L), toutes les eaux souterraines échantillonnées sont d'excellentes qualités pour l'agriculture. On distingue 75% d'eau d'excellente qualité et 25% d'eau de qualité moyenne pour l'agriculture par le diagramme de WILCOX, la pression osmotique (π), du Résidu Sec (RS) et des valeurs de la conductivité. Ces eaux présentent un faible danger de salinisation et d'alcalinisation des sols et sont donc utilisées en irrigation pour la plupart des cultures vivrières et pérennes cultivées dans la région.

References:

- AHOUSSE K. E. (2008). Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 270p.
- ANONYME (2009). L'agriculture durable et la conservation des sols, processus de dégradation des sols : Salinisation et sodification. Fiche

technique n° 4 , Communautés européennes, 4p.

BARICK S.R and RATHA B.K. (2014). Hydro-chemical analysis and evaluation of groundwater quality of Hial Area, Bolangir District, Odisha, India. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2014, Vol. 2, N°. 5A, pp 22-28.

BEN ABBOU M., FADIL F. et EL HAJI M. (2014). Évaluation de la qualité des cours d'eau de la ville de Taza utilisés dans l'irrigation des cultures maraîchères (Maroc). *Journal of Applied Biosciences* n°77, pp. 6462-6473.

BENZIANE A., BOUALLA N., DERRICHE Z., (2012). Aptitude des eaux du bassin de la Grande Sebkh d'Oran à l'irrigation. *Journal of Applied Biosciences* 56, pp. 4066 – 4074.

BIEMI J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université Nationale d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 493 p.

BOUAROUJ S. (2012). Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Magistère en Écologie, Université Mentouri Constantine, Algérie, 75 p.

BOUHLASSA S., ALECHCHEIKH C. et KABIRI L. (2008). Origine de la minéralisation et de la détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du Quaternaire du bassin versant de Rheris (Errachidia, Maroc). *Sécheresse*, vol. 19, n° 1, pp. 67 75.

COUTURE I. (2004). Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ. Montérégie-Est AGRI-VISION 2003-2004, 8 p.

DONEEN L. D. (1962). The influence of crop and soil on percolating water. In: *Proceedings of the 1961 biennial conference on ground water recharge*, pp 156–163.

DOUAOUI A. et HARTANI T. (2007). Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chéiff. Actes de l'atelier régional SIRMA. Tunis.

EL ASSLOUJ J., KHOLTEI S., EL AMRANI N. et ABDERRAOUF H. (2007). Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. *Afrique Science* 03 (1) , pp 109-122.

FAILLAT J. P. et DROGUE C. (1993). Différenciation hydrochimique de nappes superposées d'altérites et de fissures en socle granitique. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 38, 3(6), pp. 215-229.

GOUAIDIA L., GUEFAIFIA O., BOUDOUKHA A., LAIDHEMILA M. et MARTIN C. (2012). Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de

- Meskiana (Nord-Est Algérien). *Physio-Géo* Volume 6, pp. 141-160.
- GOUAIDIA L. (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana, Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat en sciences, Université d'Annaba, Algérie, 129 p.
- INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (2014). Recensement générale de la population et de l'habitat de la Côte d'Ivoire 2014, 22 p, /http : ins.ci
- KATERJI N., (1995). Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'oribine saline : approches empiriques et mécanistes. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 81 (2). pp.73-86.
- KELLY W.P. (1957). Adsorbed Sodium, cation exchange capacity and percentage sodium adsorption in alkali soils, *sci.*, vol. 84, pp. 473-477.
- KELLY W.P. (1963). Use of saline irrigation water, *soil science*, 95 (4), pp. 355-391.
- MENGEL K. and KIRKBY E. A. (1982). Principles of plant nutrition. Potash Inst 3^e edition. Worblanfen Bern Swintzerland, 655p.
- N'DIAYE D. A., KANKOU O. A. S. O. M. et LO B. (2010). Etude de la salinité des eaux usées utilisées dans l'irrigation dans le périmètre maraîcher de Sebkhah, Nouakchott. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(6), pp 2060-2067.
- OGA M. S., GNAMBA F. M., ADIAFFI B., SORO T., OULAI K. and BIEMI J. (2015). Aptitude of Groundwaters for Irrigation in Katiola Area. *Asian Review of Environmental and Earth*, Vol. 2, N° 3, pp. 54-60.
- OROU K. R. (2008). Influence de l'utilisation des engrais NPK sur la qualité des eaux souterraines dans les zones agricoles en milieu soudano-guinéen : Cas du département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), Mémoire DEA, Université Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 68p.
- PAPON A. (1973). Géologie et minéralisation du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Mémoire du Bureau de Recherche en Géologie Minière, Paris, France, Vol. 80, 284 p.
- RICHARDS, L. A., (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agric. Hand book*, N° 60, USDA, Washington D.C. 160 p.
- RODIER J. (2009). L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} édition, Paris, Dunod, 1475 p.
- ROUABHIA A.E.K. et DJABRI L. (2010). L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod. *Larhyss Journal*, n° 8, p. 55 67.
- SNOUSSI S. A. et HALITIM A. (1998). Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. *Etudes et Gestion des Sols*, 5, 4, pp 289-298.

SORO N. (2002). Hydrochimie et Géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implications hydrologiques et hydrogéologiques. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, 256 p.

TAPSOBA-SY A. (1995). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire) : Hydrochimie, isotopie et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 200 p.

TODD K. (1980): Groundwater hydrology, Wiley J. and Sons, Seconde Edition, New York, USA, 510 p.

WILCOX LV., (1955). Classification and use of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture, Circular 696, Washington, DC, 16 p.

WILCOX L.V. (1948). The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC, 19 p.