

Vingt-unième article : **Caractérisation de l'état de salinité des sols et des eaux du site maraîcher de Atti-Apédokoe dans la préfecture de l'Avé au Togo**

Par : E. Bouka, K. K. Ganyo, K. A. Ablede, E. E. Mathe et J. M. Sogbedji

Pages (pp.) 162-174.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) - *Numéro Spécial Productions Végétales, Animales et Halieutiques, Économie Rurale, Sociologie Rurale, Agronomie, Environnement, Développement Durable & Sécurité Alimentaire de l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) – Octobre 2019*

Le BRAB est en ligne (on line) sur les sites web <http://www.slire.net> & <http://www.inrab.org>

ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



## **Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)**

**Centre de Recherches Agricoles à vocation nationale basé à Agonkanmey (CRA-Agonkanmey)**

**Programme Information Scientifique et Biométrie (PIS-B)**

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél.: (229) 21 30 02 64 / 21 13 38 70 / 21 03 40 59 ; E-mail : [brabinrab@yahoo.fr](mailto:brabinrab@yahoo.fr) / [craagonkanmey@yahoo.fr](mailto:craagonkanmey@yahoo.fr)

## Caractérisation de l'état de salinité des sols et des eaux du site maraîcher de Atti-Apédokoe dans la préfecture de l'Avé au Togo

E. Bouka<sup>41</sup>, K. K. Ganyo<sup>42</sup>, K. A. Ablede<sup>41</sup>, E. E. Mathe<sup>42</sup> et J. M. Sogbedji<sup>43</sup>

### Résumé

La salinisation des terres agricoles demeure un frein à l'intensification des cultures et un facteur de risque à la sécurité alimentaire. Afin d'évaluer le niveau de salinisation des terres et eaux du site maraîcher d'Atti-Apédokoe (Togo), des ouvertures de fosses pédologiques précédées de sondages à la tarière, et l'analyse physico-chimique (granulométrie, MO, CE, Na, Ca, Mg, K, CEC, pH, P) des échantillons de sols et eaux prélevés ont été faits dans la partie aménagée et non aménagée du site et hors site. Les résultats ont montré que les sols étaient de types hydromorphes peu humifères à pseudogley d'ensemble ou ferrugineux tropicaux lessivés à hydromorphie de profondeur de texture limono-argilo-sableuse ou limono-sableuse en surface dans la partie aménagée, hydromorphes peu humifères à pseudogley d'ensemble, sableux en surface dans la partie non aménagée et ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions, limono-sableux en surface dans la partie hors site. Une salinisation localisée ( $EC \geq 500 \mu S$ ) a été observée dans les sols du périmètre aménagé ( $27 \leq EC \leq 586 \mu S$  dans 0-30 cm et  $17 \leq EC \leq 672 \mu S$  dans la couche 30 -80 cm), alors que la conductivité électrique était inférieure à  $500 \mu S$  à la fois dans la partie non aménagée et hors site. Une sodisation localisée avec le pourcentage de sodium échangeable (ESP) compris entre 3 et 27% a été observée dans les parties aménagée et non aménagée. Une forte salure ( $CE > 2.250 \mu S/cm$ ) a été observée également au niveau de l'eau des puits (consommation) alors que l'eau de la retenue (barrage) ne présentait aucune contrainte à l'irrigation ( $CE < 250 \mu S/cm$ ). La salinisation du site n'est pas liée à l'eau d'irrigation mais plutôt à la nappe superficielle.

**Mots clés** : Salinisation, sodisation, terres agricoles, Atti-Apédokoe, Togo.

### Characterization of the soil and water salinity of the Atti-Apédokoe market garden site in the Avé prefecture in Togo

### Abstract

Salinization of agricultural land impaired crop intensification and is a risk factor for food security. In order to evaluate soil and water salinity level of the vegetable production site of Atti-Apédokoe (Togo), soil pits were opened after an auger survey, and physicochemical analysis (granulometry, OM, EC, Na, Ca, Mg, K, CEC, pH, P) was done. Soil and water samples were taken from the developed and undeveloped area of the site and off-site. The results showed that the soils were hydromorphic with low humification to pseudo-gley or tropical ferruginous leached to hydromorphous depth of silty-sandy-clay or sandy-loamy texture on the surface in the developed part, hydromorphic little humus pseudogley overall, sandy on the surface in the undeveloped area and tropical ferruginous leached with concretions, sandy-loam on the surface in the off-site part. Localized salinization ( $EC \geq 500 \mu S$ ) was noticed in soils from developed perimeter ( $27 \leq EC \leq 586 \mu S$  in 0-30 cm and  $17 \leq EC \leq 672 \mu S$  in the 30 -80 cm layer), while the electrical conductivity is less than  $500 \mu S/cm$  in both the undeveloped and off-site areas. Localized sodization with exchangeable sodium percentage (ESP) ranging between 3% and 27% was also noticed in the developed and undeveloped areas. A high salinity ( $EC > 2,250 \mu S/cm$ ) of the wells water (consumption) was observed whereas the water of the dam presented no

---

<sup>41</sup> Dr Ekpetsi BOUKA, Direction Scientifique (DS), Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA), BP 1163, Lomé, E-mail : [got\\_chant@yahoo.fr](mailto:got_chant@yahoo.fr), Tél. : (+228)90072680, République du Togo

Dr Ir. Komlan Adigninou ABLEDE, DS/ITRA, BP 1163, Lomé, E-mail : [komlan.ablede@gmail.com](mailto:komlan.ablede@gmail.com), Tél. : (+228)90263252, République du Togo

<sup>42</sup>Dr Ir. Komla Kyky GANYO, Direction des Laboratoires (DL/ITRA), BP 1163, Lomé, E-mail : [desireganyo@gmail.com](mailto:desireganyo@gmail.com), Tél. : (+228)90072680, République du Togo

Ir. Ezoun Etè MATHE, DS/ITRA, BP 1163, Lomé, E-mail : [matzoun@yahoo.fr](mailto:matzoun@yahoo.fr), Tél. : (+228)90127011, République du Togo

<sup>43</sup>Prof. Dr Ir Jean Mianikpo SOGBEDJI, École Supérieure d'Agronomie (ESA), Université de Lomé (UL), BP 1515, Lomé, E-mail : [mianikpo@yahoo.com](mailto:mianikpo@yahoo.com), Tél. : (+228)90123390, République du Togo

constraint to irrigation ( $EC < 250 \mu\text{s/cm}$ ). Salinization of the site is not related to irrigation water but to the surface water table.

**Key words:** salinization, sodization, agricultural land, Atti-Apédokoè, Togo.

## INTRODUCTION

La sécurité alimentaire des populations suppose une augmentation très significative de la production agricole dans les quelques années à venir. Cependant, l'amélioration de la productivité de chaque hectare déjà cultivé est une solution à envisager avec attention (Cheverry et Robert, 1998). L'engagement à long terme de la production agricole dépend de la gestion de la fertilisation (notamment azotée et phosphatée) couplée à celles de l'acidité et de la salinité dans la plupart des systèmes de culture (Diallo *et al.*, 2015). La salinité des sols est un problème mondial majeur en raison de son impact négatif sur la productivité et la durabilité de l'agriculture (Machado et Serralheiro, 2017). Généralement évoqués dans les régions arides et semi-arides où la pluviométrie est insuffisante pour satisfaire les besoins d'évaporation des plantes et le lessivage des sels solubles de la rhizosphère, les problèmes de salinité se produisent dans toutes les conditions climatiques et peuvent résulter d'actions à la fois naturelles et induites par l'homme (Shahid *et al.*, 2018). La salinisation des terres peut être soit marine (intrusion de la mer) soit continentale (altération des roches ou apports naturels externes). La salinisation regroupe trois mécanismes de dégradation des sols à savoir la salinisation, la sodisation et l'alcalinisation. Ces phénomènes sont à la base des principales dégradations des sols observés sur les sites irrigués.

Les statistiques sur la salinisation montrent une augmentation de l'ampleur du phénomène. La superficie mondiale des sols affectés par le sel est d'environ 954 millions d'hectares (Kovda et Szabolcs, 1979). Les terres émergées font  $13,3 \times 10^9$  ha, dont  $7 \times 10^9$  ha de terre arables, mais seulement  $1,5 \times 10^9$  ha sont cultivées. Environ  $0,34 \times 10^9$  ha (23%) des terres cultivées sont salines et  $0,56 \times 10^9$  ha (37%) sont sodiques (Massoud, 1981). Près de 10 millions d'hectares de terres irriguées sont abandonnées chaque année dans le monde à cause de la salinisation, de la sodisation et de l'engorgement (Szabolcs, 1989). Les sols salins occupaient plus de 20% de la superficie irriguée du monde au milieu des années 90 (Ghassemi *et al.*, 1995). Sur la base des cartes de sols du monde de FAO/UNESCO (FAO-UNESCO, 1971, 1975a, 1975b, 1976, 1978a, 1978b, 1979a, 1979b, 1979c, 1981), 397 et 434 millions d'hectare de sols qui ne sont pas nécessairement arables sont respectivement salins et sodiques. L'importance de ces phénomènes de salinité dépend des apports hydriques et du bilan évaporatoire imposé par le climat (Bouteyre et Loyer, 1992). Les scénarios de changement climatique prédisent une augmentation de la salinisation des sols en raison de l'élévation du niveau de la mer et de son impact sur les zones côtières, ainsi que de l'élévation de la température qui entraînera inévitablement une augmentation de l'évaporation et une salinisation accrue (Shahid *et al.*, 2018).

Au Togo les sols halomorphes, sols salés à alcalis, sont décrits le long de la lagune, du Lac Togo au fleuve Mono, ou des solonetz solodisés, sur gneiss alcalins en bordure de la vallée du fleuve Zio (Lamouroux, 1969). Cependant, les pratiques agricoles tels les apports excessifs d'engrais minéraux et la qualité des eaux d'irrigation sont susceptibles d'accentuer le niveau de salinité des sols et d'étendre les zones et superficies de terres salines au Togo. Le village d'Atti-Apédokoè au Togo, est une zone de forte production maraîchère dont les principales cultures pratiquées sont la corète, les épinards, la tomate, le piment, les aubergines. Sur un financement de la FAO, le Projet d'Appui à la Maîtrise et à la Gestion de l'Eau (PAMGE) a eu à aménager 9 ha de parcelles pour le maraîchage. Les villageois eux-mêmes ont ajouté 5 ha mais sans aucun aménagement. Face, au mauvais développement des plantes en particulier de la tomate et à la baisse de la production en général, l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) a été interpellé pour diagnostiquer le problème et proposer des solutions. L'accumulation de sels dans l'eau et le sol a un effet déterminant sur le rendement des cultures et induit la perte des terres agricoles. De fortes concentrations de sels solubles dans le sol peuvent empêcher ou retarder la germination des graines et endommager les plantes établies (MAAO, 2014; Camara *et al.*, 2018). La salinité influence tous les stades de développement de la plante mais la sensibilité des différents stades dépend du type de culture (Saadat et Homae, 2015). Ce travail est une étude diagnostique du problème évoqué par les maraîchers du village d'Atti-Apédokoè. L'objectif de l'étude était de caractériser la salinité du sol, des eaux de puits et de la retenue d'eau du périmètre maraîcher du village d'Atti-Apédokoè.

## MATERIELS ET METHODES

### Site de l'étude

L'étude a été réalisée en 2011 sur le site d'Atti-Apédokoè (6°26' de latitude Nord et 0°54' de longitude Est), village situé à 50 km au Nord-Ouest de Lomé dans la préfecture de l'Avé. Le site dispose au total de 14 ha (dont 9 ha aménagés) de parcelles exploitées pour la production de légumes locaux notamment "ademe" (*Corchorus olitorius*), les épinards, le piment, le gombo, les aubergines et les légumes exotiques tels que le chou, la carotte et les laitues. Le périmètre aménagé comporte des casiers, drains et des bacs de rétention d'eau en ciment connectés entre eux par des tuyaux alors que la partie non aménagée ne présente pas de ces dispositions. La partie hors site représente la partie exondée contiguë au site aménagé où sont cultivées des cultures telles le maïs, le niébé et l'arachide.

### Échantillonnage et prélèvement des sols et des eaux

En vue de connaître l'organisation morphologique des sols et de ressortir toutes les variabilités pédologiques de la zone, une prospection a été effectuée de l'amont à l'aval sur la ligne de plus grande pente (transect), traversant longitudinalement le site. Des observations à la tarière (sondages) ont été réalisées à l'échelle 1/5000<sup>ème</sup> c'est-à-dire un sondage tous les 50 m, le long de cette ligne sur une profondeur d'au moins 80 cm et des informations sur la couleur, la texture, la présence ou non d'éléments grossiers et secondaires, etc. ont été collectées. La même opération a été répétée sur deux lignes transversales, de manière à couvrir toute la zone (partie aménagée, non aménagée et hors site). Des fosses pédologiques ont été ouvertes à raison de quatre sur la partie aménagée du site, deux sur la partie non aménagée et un en dehors du site, ont été ouvertes sur la base des résultats de sondage à la tarière. Les fosses pédologiques représentaient chacune, une unité pédologique répertoriée aux sondages. Les coordonnées géographiques des points d'ouverture des fosses ont été relevées à l'aide de GPS. Au niveau de chaque fosse, deux couches de sol ont été délimitées et leurs caractéristiques (état d'humidité, texture, structure, présence ou non d'éléments grossiers, couleur, compacité, présence ou non de taches, porosité, présence ou non des racines). Quatorze échantillons de sol ont été prélevés à raison de deux par fosse pédologique pour les analyses physiques et chimiques au laboratoire.

Les deux échantillons d'eau suivants ont été également prélevés : un échantillon composite constitué de différents prélèvements effectués à cinq points de la retenue d'eau de dimensions 100 m x 50 m x 3 m servant à l'arrosage des cultures ; un échantillon issu des deux puits, creusés pour l'approvisionnement en eau potable de la population. Le prélèvement a été fait à l'aide d'un seau et les eaux conditionnées dans des bidons propres afin d'éviter des contaminations. Ces échantillons d'eau ont été également analysés au laboratoire Sol-Eau-Végétaux-Engrais de l'ITRA.

### Analyses de laboratoire

Les échantillons de sol et eau prélevés ont été analysés au laboratoire « Sol-Eau-Végétaux-Engrais » de l'ITRA une semaine après leur prélèvement. Les paramètres déterminés dans les échantillons de sol ont été la granulométrie, la matière organique, l'azote (N) total, le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na), le potassium (K), le phosphore total et assimilable (P), la capacité d'échange cationique (CEC), le pH et la conductivité électrique (CE). Certains de ces paramètres ont permis de calculer la somme des bases échangeables (S) et le taux de saturation (V). L'analyse des échantillons d'eau a porté sur la CE, le pH et les sels calcium, magnésium, potassium et sodium, et le chlore qui constituent avec le sodium des ions toxiques pour la plante à partir d'un seuil de référence.

### Calcul d'indicateurs de salinité

Les bases échangeables telles que le sodium, le calcium et le magnésium ont permis de calculer le pourcentage de sodium échangeable (ESP) dans les sols prélevés et le coefficient d'absorption du sodium (SAR) dans les échantillons d'eau. Les équations utilisées ont été les suivantes :

Equation 1 :  $ESP (\%) = \frac{Na}{CEC} \times 100$ , où : ESP = taux du sodium échangeable (%) ; Na = concentration en sodium échangeable (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) ; CEC = capacité d'échange cationique (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>).

Equation 2 :  $SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}}$ , où : SAR = coefficient d'absorption du sodium ; Na = concentration en sodium échangeable (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) ; Ca = la concentration en calcium (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) ; Mg = la concentration en magnésium (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>).

### Analyses de données

Les sols du site maraîcher de Atti-Apédokoè ont été classés en utilisant la classification française (CPCS, 1967). Les seuils d'appréciation du pH et des indicateurs de salinité (sol et eau) ont été consignés dans le tableau 1. La conductivité électrique et le pourcentage du sodium échangeable ont permis de déterminer la salinité et la sodisation du sol tandis que la conductivité et le coefficient d'absorption du sodium ont servi à évaluer la qualité des eaux pour l'irrigation. Tous les paramètres déterminés au laboratoire et ceux calculés ont été soit interprétés par rapport aux normes d'interprétation d'analyse de sol ou d'eau d'irrigation, soit comparés aux barèmes et classes/échelles (salinité, sodicité, alcalinité, toxicité, aptitude à l'irrigation, aptitude au drainage, etc.).

**Tableau 1. Appréciation du potentiel d'Hydrogène (pH), de pourcentage de sodium échangeable, du ratio d'absorption du sodium et de la conductivité électrique**

pH		ESP (%)		SAR		Conductivité électrique (µS)			
Seuil	Solution du sol	Seuil	Sodicité	Seuil	Alcalinisation	Seuil	Sol	Seuil	Eau
< 4,5	Acide	< 5	Très Faible	< 10	Peu de danger	<500	Non Salin	< 250	Peu salée
4,5-6,5	Légèrement acide	5-10	Faible	10-18	Danger	500-1000	Légèrement salin	250-750	Légèrement salée
6,5-7,5	Neutre	10-15	Moyenne	18-26	Forte	1000-2000	Salin	750-2250	Salée
7,5-8,5	Légèrement alcalin	15-25	Elevée	> 26	Très Forte	2000-4000	Très salin	> 2250	Très salée
> 8,5	Alcalin	> 25	Très élevée			> 4000	Extrêmement salin		
Source		Source		Source		Source		Source	
Chang <i>et al.</i> (1995) adapté		Chang <i>et al.</i> (1995)		Richards (1954)		Durand (1983)		CIRAD (2002)	

pH : potentiel d'Hydrogène ; ESP : Pourcentage de sodium échangeable ; SAR : Ratio d'Absorption Sodium

## RÉSULTATS

Les résultats des analyses de sols ont été présentés dans le tableau 2.

### Caractéristiques morpho analytiques des sols dans la partie aménagée

#### Profil 1 (Lat : 6° 26' 44" N, Long : 0° 54' 12" E)

C'était un sol à texture limono-sableuse en surface et limono-argilo-sableuse en profondeur. La structure était grumeleuse peu nette. C'était un sol meuble, friable, poreux, gris très sombre (10YR3/1) avec des taches diffuses et de nombreuses dans les 30 premiers cm. L'horizon de profondeur était de structure polyédrique sub-anguleuse nette, peu compact et plastique. Cet horizon était de couleur grise (10YR5/1) avec de nombreuses taches de couleur brun-jaune (10YR5/8) et la présence de 3 à 5% de graviers de quartz et concrétions ferrugineuses. Il présentait également quelques rares radicules et traces d'activités animales très peu nombreuses. Les caractéristiques sus-indiquées ont permis de classer ce sol parmi les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley d'ensemble, limono – sableux en surface.

**Tableau 2. Résultats des analyses de sols**

Caractéristiques		Périmètre aménagé								Périmètre non aménagé				Hors site	
Paramètres déterminés	Profil	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	Horizon (cm)	0-30	30-83	0-32	32-100	0-38	38-90	0-40	40-90	0-41	41-95	0-34	34-100	0-25	25-80
Granulométrie	Argile (%)	8,3	28,5	8,8	28,3	11,3	30,3	12,3	34,5	4,5	32,3	5,3	23,3	15,3	44,8
	Limon (%)	40,3	8,6	30,9	15,7	11,2	10,8	28,1	19,6	10,2	3,6	11,2	9,2	13,2	13
	Sable (%)	50,0	58,9	58	53,9	74,1	54,6	56,0	43,4	83,8	63,5	82,1	65,9	69,5	37,5
Matière organique	MO (%)	1,62	1,32	1,38	1,41	1,62	0,78	1,90	0,76	1,56	0,76	1,58	0,84	2,14	1,37
	Carbone (%)	0,940	0,768	0,803	0,816	0,938	0,454	1,101	0,438	0,902	0,448	0,913	0,486	1,240	0,797
	Azote total (%)	0,039	0,039	0,056	0,028	0,056	0,028	0,073	0,028	0,050	0,034	0,045	0,028	0,090	0,034
	C/N	24	20	14	29	17	16	15	16	18	13	20	17	13	23
Phosphore	P total (mg.kg <sup>-1</sup> )	143	145	154	137	149	142	141	149	139	142	140	136	155	151
	Pass (mg.kg <sup>-1</sup> )	6,70	6,60	10,05	6,95	7,20	6,35	6,95	6,60	6,60	6,65	6,80	6,55	6,60	6,75
Complexe adsorbant	Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1,12	1,77	1,46	2,31	0,76	1,43	1,07	1,27	0,55	1,54	1,36	1,65	2,66	1,87
	Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,80	2,87	1,03	3,25	1,07	3,08	3,60	1,56	0,49	3,78	0,71	2,99	1,85	4,26
	K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,56	0,35	0,35	0,35	0,40	0,40	0,46	0,51	0,51	0,40	0,40	0,40	0,66	0,51
	Na (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,70	1,40	1,48	3,48	0,52	0,70	3,04	1,13	0,52	4,00	0,87	4,00	0,52	0,87
	S (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	3,18	6,39	4,32	9,35	2,75	5,61	8,17	4,47	2,07	9,72	3,34	9,04	5,69	7,51
	CEC (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	10,87	12,11	5,65	13,05	6,96	15,22	9,57	21,75	6,96	20,11	9,13	12,11	10,87	21,75
	V (S/CEC)	29	50	76	71	39	37	85	20	30	48	36	71	52	34
ESP (%)		9		27		6		3		17		23		4	

MO : Matière Organique ; C/N : Carbone/Azote ; P : Phosphore ; Pass : Phosphore assimilable ; Ca : Calcium ; Mg : Magnésium ; K : Potassium échangeable ; Na : sodium ; S : Somme des bases échangeables ; CEC : Capacité d'Échange Cationique ; V : Saturation ; CE : Conductivité électrique ; Potentiel Hydrogène ; ESP : Pourcentage de sodium échangeable.

La teneur en matière organique était moyenne, mais celle de l'azote était très faible. Le complexe adsorbant était pauvre en calcium, moyennement riche en magnésium et riche en potassium. La teneur en sodium du sol était assez élevée (0,7 à 1,40  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ). La somme des bases échangeables et le taux saturation étaient faibles dans la couche superficielle et présentaient une valeur moyenne dans la deuxième couche. La capacité d'échange cationique était moyenne dans l'ensemble. Les réserves en phosphore de ces sols étaient très faibles (Tableau 2).

#### **Profil 2 (Lat : 6° 26' 44" N Long : 0° 54' 17" E) :**

La granulométrie des sols de cette unité était limono-sableuse dans la première couche devenant limono-argilo-sableuse en profondeur. Sa structure était polyédrique grossière entre 0 - 32 cm à massive à éclats anguleux entre 32 – 100 cm. Il était meuble à peu compact, poreux, friable, gris très sombre (10YR3/1) et gris-foncé (10YR4/1) avec des taches assez nombreuses de couleur brune (10YR4/3) en surface. En profondeur, le sol était plastique, de couleur grise (2,5Y5/0), avec de très nombreuses taches de couleur brun-jaune (10YR5/6). Les graviers de quartz et de concrétions ferrugineuses étaient d'environ 1% et de 3 à 5% respectivement en surface et en profondeur. Les caractéristiques sus-indiquées ont permis de classer ce sol parmi les sols hydromorphes peu humifères à pseudo gley d'ensemble, limono – sableux en surface.

La matière organique et l'azote ont été faiblement présents dans le sol. Le complexe adsorbant était peu pourvu en calcium, assez riche en magnésium et potassium. La teneur en sodium est élevée en surface et très élevée dans la deuxième couche du sol (1,48 et 3,48  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ). Les réserves en phosphore étaient très faibles dans l'ensemble du profil. La somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique étaient acceptables dans la dernière couche du sol, mais insuffisantes dans la première couche. Ces sols étaient moyennement saturés (Tableau 2).

#### **Profil 3 (Lat : 6° 26' 40" N, Long : 0° 54' 10" E):**

L'analyse granulométrique a montré une texture moyenne dans l'ensemble, limono-sableuse en surface, devenant limono-argilo-sableuse dans la dernière couche décrite. De structure grumeleuse à tendance particulaire en surface et structure polyédrique subanguleuse peu nette en profondeur, ce profil était meuble, friable à peu compact. Il présentait une couleur grise très sombre (10YR3/1) et brun grisâtre sombre (10YR4/2) en surface et brun-jaune (10YR5/6) avec des taches d'oxydoréduction de couleur grise (10YR5/1) et taches d'altération de couleur rouge (2,5YR4/8). Ce profil présentait d'assez nombreux graviers de quartz et de concrétions (3% en surface et 10% en profondeur). Les caractéristiques sus-indiquées ont permis de classer ce sol parmi les sols ferrugineux tropicaux lessivés à hydromorphie de profondeur, limono-sableux en surface.

La teneur en matière organique et en azote était insuffisante dans ce sol. Le complexe adsorbant doté d'une capacité d'échange cationique moyenne était pauvre en calcium, moyennement riche en magnésium, potassium et en sodium échangeables. Les réserves en phosphore dans ces sols étaient très faibles. La somme des bases échangeables était également faible. Le taux de saturation en bases a été faible dans l'ensemble du profil observé (Tableau 2).

#### **Profil 4 (Lat : 6° 26' 47" N Long : 0° 54' 12" E)**

Les sols du profil 4 avaient une texture limono-sableuse dans les couches supérieures et limono-argilo-sableuse dans les couches profondes. Ils présentaient une structure grumeleuse nette en surface et polyédrique sub-anguleuse peu nette en profondeur. Ils étaient poreux, meubles, gris très sombre (2,5Y3/0) et gris sombre (2,5Y4/0) avec des taches assez nombreuses de couleur brun-olive claire (2,5Y5/6) de la surface en profondeur. Au-delà de 40 cm, le sol était peu compact, plastique, de couleur de l'horizon grise (2,5Y5/0), avec des taches très nombreuses de couleur brun-olive claire (2,5Y5/6). Ce profil a présenté environ 3% et 2% de graviers de quartz et de concrétions ferrugineuses respectivement en surface et en profondeur. Les caractéristiques décrites ci-dessus ont permis de classer ce sol parmi les sols hydromorphes peu humifères à pseudo gley d'ensemble, limono-argilo-sableux en surface. Ils étaient pauvres à très pauvres en matière organique et en azote. Le complexe adsorbant doté d'une capacité d'échange moyenne était pauvre en calcium, irrégulièrement pourvu en magnésium, riche en potassium et en sodium. Les réserves en phosphore de ces sols étaient très insuffisantes. La somme des bases échangeables était faible à moyenne de

même que la capacité d'échange cationique. Ils étaient fortement saturés dans les couches de surface et faiblement saturés dans les couches sous-jacentes (Tableau 2).

### **Caractéristiques morpho analytiques des sols dans la partie non aménagée**

#### **Profil 5 (Lat : 6° 26' 42" N Long : 0° 54' 22" E)**

La granulométrie de ce sol était sableuse en surface et limono-argilo-sableuse en profondeur. L'horizon 0 – 41 cm présentait une structure grumeleuse à tendance particulaire, meuble, friable, de couleur gris très sombre (10YR3/1), et brun grisâtre sombre (10YR4/2), avec d'assez nombreuses taches de couleur brun-jaune (10YR6/6). C'était un horizon très poreux, avec la présence de très nombreuses racines à distribution sub-superficielle et traces d'activités animales très nombreuses. L'horizon de profondeur (41-95 cm) se caractérisait par une structure massive à éclats anguleux. Il était peu compact, peu plastique, couleur brun-jaune (10YR6/6), avec de très nombreuses taches de couleur grise (10YR6/1). Il était poreux et contenait environ 2% de graviers de quartz et concrétions ferrugineuses. Les caractéristiques sus-indiquées ont permis de classer ce sol parmi les sols hydromorphes peu humifères à pseudo gley d'ensemble, sableux en surface.

Ce profil était moyennement pourvu en matière organique dans la première couche, mais très pauvre en cette matière en profondeur. La teneur en azote était très faible partout. Le complexe adsorbant était très peu pourvu en calcium, riche en magnésium en profondeur, riche en potassium dans l'ensemble du profil. La teneur de ce sol en sodium était très élevée dans la couche argileuse (4,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). La somme des bases échangeables était moyenne dans l'ensemble et la capacité d'échange cationique était faible en surface mais moyenne dans la tranche argileuse. Les réserves en phosphore du sol étaient très faibles. Le taux de saturation (30 à 48) était moyen (Tableau 2).

#### **Profil 6 (Lat : 6° 26' 39" N, Long : 0° 54' 25" E)**

L'analyse granulométrique de ce sol a présenté une texture sableuse devenant moyenne (limono-argilo-sableuse). Ce profil était caractérisé par une structure grumeleuse peu nette en surface et massive à éclats anguleux entre 34 - 100 cm. Il était meuble, friable, poreux (très nombreuses racines), gris très sombre (2,5Y3/0), avec des taches assez nombreuses de couleur brun-grisâtre (2,5Y5/2) et contenait peu d'éléments grossiers (environ 1%) sur les 34 premiers centimètres. L'horizon de profondeur est gris (10YR5/1) avec de très nombreuses taches de couleur brun-jaune (10YR6/6). Les graviers de quartz et de concrétions ferrugineuses sont plus nombreux (8%) dans cet horizon. Les caractéristiques ci-dessus décrites ont permis de classer ce sol parmi les sols hydromorphes peu humifères à pseudo gley d'ensemble, sableux en surface.

Sa teneur en matière organique et en azote était faible. Le complexe adsorbant était pauvre en calcium, moyennement riche en magnésium et en potassium. Ce sol renfermait une très forte teneur en sodium dans la couche argileuse et une teneur assez élevée dans la partie sableuse. Les réserves en phosphore étaient très faibles partout dans le profil. La somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique étaient à peine acceptables dans la couche argileuse. Dans la partie sableuse, elles étaient faibles. Le taux de saturation a été faible en surface mais fort en profondeur (Tableau 2).

### **Caractéristiques morpho analytiques des sols hors site**

#### **Profil 7 (Lat. 6° 26' 45 N, Long. 0° 54' 6" E)**

L'analyse granulométrique a montré une texture limono-sableuse en surface et argileuse en profondeur. Ce profil renfermait environ 10% de graviers de quartz et de concrétions ferrugineuses entre 0 et 25 cm. Cet horizon présentait une structure grumeleuse peu nette. Il était meuble, friable, poreux, de couleur gris-brunâtre très sombre (10YR3/2) et présentait de nombreuses racines à distribution sub-superficielle. L'horizon 25 – 80 cm était compact, friable, brun-jaune (10YR5/6) avec d'assez nombreuses taches d'altération de couleur rouge (2,5YR4/6), et d'oxydoréduction de couleur grise (10YR6/1). Il était compact, friable, poreux possédant une structure particulaire nette avec environ 60 à 70% de graviers de quartz et de concrétions ferrugineuses. Les caractéristiques sus-indiquées ont permis de classer ce sol parmi les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions.



La teneur en matière organique était moyenne à faible. Le rapport C/N compris entre 13 et 15 indiquait une minéralisation lente de la matière organique. Les sols en amont du périmètre aménagé sont pauvres à très pauvres en azote et très pauvres en phosphore. Le complexe adsorbant était pauvre en calcium, moyennement riche en magnésium, mais riches en potassium. La somme des bases et la capacité d'échange cationique étaient faibles en surface et acceptables dans la dernière couche. La teneur en sodium de ces sols a été assez élevée dans l'ensemble du profil. C'étaient des sols faiblement saturés très chargés en graviers et concrétions dans la dernière couche (Tableau 2).

### Pourcentage de sodium échangeable (ESP)

Le pourcentage de sodium échangeable (ESP) calculé pour un profil moyen a montré que l'ESP des sols hors site était de 4% donc non sodique. Ceux des sols de la partie aménagée étaient de 9% (non sodique) dans le profil 1, de 27% (sodique) dans le profil 2, de 6% (non sodique) dans le profil 3 et de 3% (non sodique) dans le profil 4. Quant aux sols de la partie non aménagée, le calcul a donné 17% (sodique) dans le profil 5 et 23% (sodique) dans le profil 7.

### pH et conductivité électrique des sols

Le pH du sol a varié entre 6,2 et 6,8 dans les horizons de surface (0 – 25 cm) et entre 6,2 et 7,2 dans les horizons sous-jacents (25 – 100 cm). Le sol était légèrement acide à neutre que ce soit dans la partie aménagée et non aménagée que dans la partie hors site (Figure 1). Par ailleurs, les valeurs de conductivité électrique ont varié entre 27 et 586 et entre 16 et 674  $\mu\text{s}/\text{cm}$  respectivement dans les horizons de surface et de profondeur. Deux profils dans la partie aménagée (P3 et P4) présentaient en surface (586  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) et en profondeur (674  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) les caractéristiques d'un sol légèrement salin ( $500 < \text{CE} < 1000 \mu\text{s}/\text{cm}$ ). Les autres profils échantillonnés (partie non aménagée et hors site) étaient non salins ( $\text{CE} < 500 \mu\text{s}/\text{cm}$ ). Cependant, la conductivité électrique dans la partie non aménagée en particulier dans les couches sous-jacentes était relativement élevée comparée à celle relevée hors site (Figure 2). De plus, la conductivité électrique augmentait dans les horizons de surface lorsque la solution du sol devenait plus acide alors que dans les horizons de profondeur sa variation était indépendante de l'acidité du sol (Figure 3).

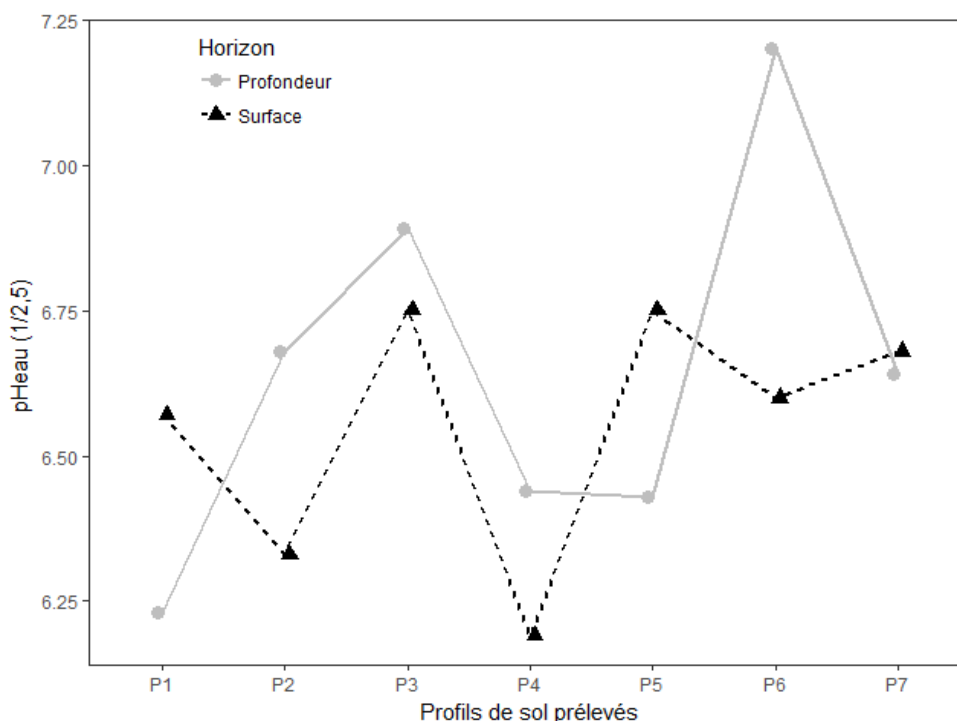


Figure 1. Potentiel d'Hydrogène dans les différents horizons du sol du périmètre maraîcher d'Atti-Apédokòè

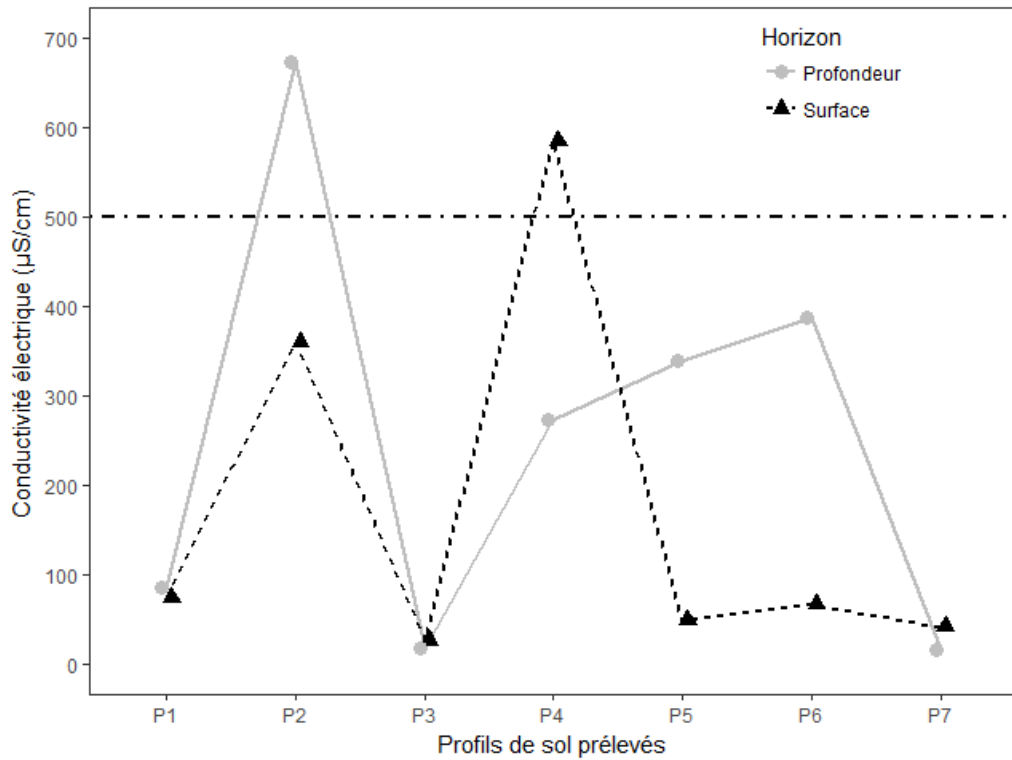


Figure 2. Conductivité électrique dans les différents horizons du sol du périmètre maraîcher d'Atti-Apédokòè

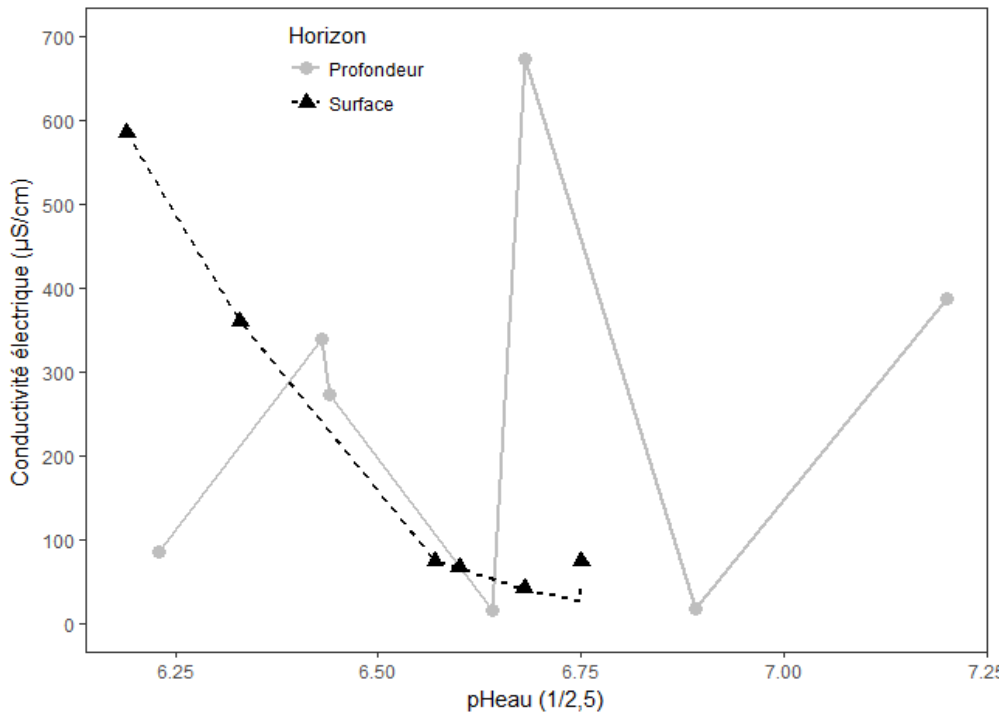


Figure 3. Relation entre l'acidité et la conductivité électrique dans les différents horizons du sol du périmètre maraîcher d'Atti-Apédokòè

### **Caractéristiques chimiques des eaux d'Atti-Apédokoe**

Dans le tableau 3 ont été présentés les résultats d'analyses des eaux prélevées dans le barrage (irrigation) et le puits (consommation). La teneur en calcium (62,40 mg/l soit 624 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) était largement supérieure à la maximale comprise entre 40 -120 ppm dans l'eau du puits contre 11,32 mg/l soit 113,2 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> dans celle de la retenue. Pour le Magnésium, la teneur enregistrée dans l'eau de puits était très élevée par rapport au seuil toléré (1.251,4 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> vs. 6-25 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) alors que celle obtenue dans l'eau du barrage était acceptable. En ce qui concerne le potassium, le sodium et le chlore, que ce soit dans l'eau de puits ou l'eau du barrage leur concentration restait très élevée par rapport aux seuils tolérés. Par ailleurs, la teneur en matières dissoutes (Ca, Mg, K et Na) totales de 8.575,4 et 609,4 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> respectivement dans l'eau du puits et du barrage ne présentait aucune contrainte pour l'utilisation de l'eau du barrage en irrigation (<7.000 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>). La solution de l'eau des puits et barrage était neutre (6,5 ≤ pH ≤ 7,5). Cependant, l'eau du puits présentait une forte salure (CE > 2250 μS) alors que celle du barrage était non saline. Le coefficient d'absorption du sodium dans l'eau du puits était de 12,94 contre 1 dans l'eau de la retenue d'eau. L'eau du puits présentait un danger d'alcalinisation.

**Tableau 3. Résultats d'analyses des eaux et barème de qualité d'eau d'irrigation**

Paramètres	Puits (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Barrage (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Seuil toléré*(cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )
Calcium (Ca)	624,00	113,20	40 -120
Magnesium (Mg)	1251,40	26,20	6 – 25
Potassium (K)	100,00	60,00	0,5 – 5
Sodium (Na)	6.600,00	410,00	0 – 30
Chlore (Cl)	1045,80	159,50	0 – 100
pHeau	7,13	6,74	-
Conductivité électrique (CE) 1/5 μs	2.900,00	126,80	-
SAR	12,94	1,00	0 - 4

\*Source : Peterson, (1999) in Couture, (2004)

### **DISCUSSION**

Le site maraîcher d'Atti-Apédokoè connaît un problème de mort précoce des plants par dessèchement, de baisse de récolte et présente des croûtes blanchâtres à la surface des sols. Les résultats discutés ici s'inscrivent dans le cadre d'un diagnostic et d'explication de la source des problèmes relevés. Les résultats montrent que le site maraîcher d'Atti-Apédokoè est constitué à majorité des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley d'ensemble, sableux en surface et sols ferrugineux tropicaux lessivés à hydromorphie de profondeur, limono-sableux en surface. Ces classes de sols sont conformes à celles décrites par Lamouroux (1969) dans la même zone. Les sols du site maraîcher sont très pauvres à pauvres en azote, potassium, phosphore assimilable et matière organique. La dominance de la fraction sableuse dans presque tous les horizons explique la pauvreté de ces sols qui se manifeste par le lessivage des nutriments. En effet, le matériau sableux a une faible faculté de rétention en eau (Durand, 1983). La faible teneur en matière organique s'explique d'une part par les fortes exportations de résidus de récolte et d'autre part, avec les textures relativement légères, les sols ne peuvent accumuler un stock de matière organique appréciable pouvant améliorer leur capacité d'échange cationique (Sene *et al.*, 2014). La disponibilité des éléments nutritifs pour la plante, et donc son développement et sa croissance sont fortement influencés par le pH du sol. L'ensemble des horizons prélevés indique des sols légèrement acides à neutres variant entre 6,2 et 7,2. Un pH variant entre 5,5 et 7,5 facilite la disponibilité des nutriments aux plantes (Delvaque, 1980). La solution du sol n'est donc pas un facteur limitant à la croissance des plantes.

Par ailleurs, la conductivité électrique mesurée au niveau des sols indique que la plupart des horizons restent dans les limites de sols non salins (EC < 500 μS/cm) selon la classification de Durand (1983). La conductivité électrique faible dans ces sols peut être liée à la période de prélèvement. En effet, les prélèvements ont été faits en mai (période pluvieuse) où les pluies ont lessivé les sels. Cependant,

une salinisation légère de quelques horizons est observée aussi bien dans la partie aménagée que celle non aménagée du site. Plus l'horizon de surface devient acide, plus le degré de salure augmente.

En outre, une forte sodisation en taches des sols est observée aussi bien à la partie aménagée et à la partie non aménagée du site. En effet, les analyses de sol ont révélé une teneur en sodium moyenne à très élevée dans les sols échantillonnés, y compris les sols situés en dehors du site. Ceci indique la présence naturelle de cet élément, dont une teneur de  $0,7 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  dans le sol est toxique à la plante (Nguyen-Queyrens *et al.*, 1995). Le problème se complique en présence d'ions chlorures, où le sodium peut se combiner à ces anions pour donner le chlorure de sodium (NaCl), un ennemi des plantes cultivées. La teneur élevée du sol et de l'eau de la nappe (puits) en sodium peut provenir de l'altération de la roche mère sous-jacente, du gneiss magmatique (BRGM/BNRM, 1986). Un prélèvement de la roche et une détermination au laboratoire de sa teneur en sodium peut mieux édifier. Si la roche est pourvue en cations, le sol peut en hériter et enrichir les eaux souterraines, sans toutefois exclure les apports extérieurs en ces éléments. Les concentrations élevées de sodium (Na) influencent par des mécanismes différents la stabilité structurale, la rétention d'eau et l'infiltration (Saidi *et al.*, 2004) affectant ainsi la structure, la porosité et l'aération du sol. Le sodium est toxique aux plantes qui en sont sensibles (Dabin, 1970), comme c'est le cas actuellement sur le site.

La conductivité électrique est très élevée dans les eaux de puits indiquant une forte salinité (salinisation, sodisation et léger danger d'alcalinisation) de l'eau du puits, alors que l'eau de la retenue ne présente aucune contrainte à l'irrigation. S'il est vrai que l'eau du puits n'est pas utilisée directement pour l'irrigation, elle intervient indirectement et activement dans le fonctionnement hydrodynamique des sols du site, jouant ainsi un rôle clé dans la mise en valeur agricole du site. Nous pouvons dès à présent parler indistinctement de l'eau de la nappe superficielle ou de l'eau du puits, le dernier étant issu du premier. L'eau de cette nappe superficielle devient ainsi le facteur limitant important, du fait de sa forte salure, par le mécanisme de la pression osmotique. Cette nappe étant peu profonde, la remontée capillaire ramène les sels (chlorures issus de diverses réactions chimiques se produisant dans le sol), en surface, lorsque les conditions d'évaporation sont remplies, formant la pellicule blanchâtre observée sur le sol. Le processus pourrait être relayé par la pluie et le ruissellement qui peuvent, à leur tour, laver le sol et entraîner les sels vers l'aval, ce que subissent actuellement les sols de la partie non aménagée, dont les sols sont sableux dans la couche supérieure. Une forte concentration de matières dissoutes totales est également notée dans les eaux de puits indiquant un danger d'alcalinisation avec l'usage de cette eau en production agricole. Les concentrations élevées de sels solubles dans le sol nuisent à l'absorption de l'eau par les végétaux. Elles peuvent empêcher ou retarder la germination des graines, tuer les plants nouvellement transplantés et ralentir sérieusement leur croissance ainsi que celle des plants établis (MAAO, 2014). Nos résultats en termes d'acidité (pH) du sol et de salinité (CE) des eaux sont partiellement en accord avec ceux de Diallo *et al.* (2015) qui rapportent un pH modérément acide à alcalin selon les sites et une forte salure des eaux de puits des sites maraîchers de la zone des Niayes au Sénégal. Ces auteurs attribuent la forte salure à la contamination des eaux de la nappe située à proximité de la mer par la remontée du biseau salée.

En définitive, l'affirmation est que la salinisation du site n'est pas liée à l'eau d'irrigation mais à la nappe superficielle, caractérisée ici par l'eau du puits. Cette nappe peu profonde constitue un réel problème, puisqu'elle irrigue naturellement les sols du site par une permanente remontée capillaire.

## CONCLUSION

Le problème de salinité des sols est bien réel sur le site maraîcher d'Atti-Apédokoè. Il s'agit d'un problème de toxicité sodique, du fait de l'importante charge en sodium des sols et de la nappe superficielle, laquelle joue malheureusement un rôle de premier plan dans l'hydrologie et la mise en valeur du site. Que ce soit dans le sol ou dans l'eau de la nappe superficielle, une salinisation primaire est observée. La salinisation du site n'est pas liée à l'eau d'irrigation mais à la nappe superficielle. Les caractéristiques intrinsèques des sols du site montrent qu'ils présentent globalement de bonnes aptitudes agricoles (en particulier le maraîchage) et de bonnes aptitudes à l'irrigation et au drainage. Cependant, il doit être intéressant (i) d'analyser tous les facteurs écologiques pouvant influencer sur la conduite rationnelle de l'irrigation c'est-à-dire imposer le mode d'arrosage et (ii) d'évaluer le

fonctionnement hydrodynamique du bas-fond, pour une mise en valeur rationnelle des sols, orientée vers la diversification des cultures.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), bureau du Togo (FAO-Togo) qui a financé la présente étude.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouteyre, G., Loyer, J.-Y., 1992 : Sols salés, eaux saumâtres, des régions arides tropicales et méditerranéennes: principaux faciès, conséquences pour l'agriculture, in: Didactiques (Ed.), L'aridité, Une Contrainte Au Développement. pp. 69–80.
- BRGM/BNRM, 1986 : Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000è du Togo, feuille Lomé.
- Camara, B., S. Sanogo, M. Cherif, D. Kone, 2018 : Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). J. Appl. Biosci. 124, 12424–12432. <https://doi.org/10.4314/jab.v124i1.4>
- Chang, R., R. Villegas, R. Marin, C. Balmaseda, 1995: Cuba: Reference Soil of the Central Valley, derived from Alluvium. Soil brief Cuba I. Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de Azucar, Habana, and International Soil Reference and Information Centre Wageningen, 13 p
- Cheverry, C.L., Robert, M., 1998 : La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau. Etude et Gestion des sols, 5(4), pp.217-226.
- CIRAD, 2002 : Memento de l'agronome. Quae, (Ed.), Versailles, France, pp 288-290, ISBN 978-2-7592-0357-4
- Couture, I., 2004 : Analyse d'eau pour fin d'irrigation, Agri-Vision, Rapport MAPAQ Montégérie-Est, 8 p.
- CPCS (Commission de Pédologie et Classification des Sols), 1967 : Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et Classification des Sols (CPCS), Aubert, G., R. Betremieux, P. Bonfils, M. Bonneau *et al.* (Ed.), Grignon (France), 87 p.
- Dabin, B., 1970 : Les facteurs chimiques de la fertilité des sols (bases échangeables, sels, utilisation des échelles de fertilité), in: Techniques Rurales En Afrique: Pédologie et Développement. pp. 222–237.
- Delvaque, J., 1980 : Etude pour une planification des cultures maraîchères au Sénégal. Tome 2, Étude analytique, Économique, technique et commerciale. Centre pour le Développement de l'Horticulture au Sénégal (CDH) (Ed), Dakar, Senegal, 72p.
- Diallo, M.D., O. Ndiaye, M.M. Saleh, A. Tine, A. Diop, A. Guisse, 2015 : Etude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone Nord des Niayes (Sénégal). African Crop Sci. J. 23, 101–111.
- Durand, J.H., 1983 : Les sols Irrigables. Agence de Coopération Culturelle et Technique- Conseil International de la Langue Française, Presses Universitaires de France (PUF), Paris (France), 339 p.
- FAO-UNESCO, 1981 : Carte mondiale des sols. Volume V Europe. Paris.
- FAO-UNESCO, 1979a: Soil map of the world Volume IX Southeast Asia. Paris.
- FAO-UNESCO, 1979b : Carte mondiale des sols. Volume VII Asie du Sud. Paris.
- FAO-UNESCO, 1979c : Carte mondiale des sols. Volume II Amérique du Nord. Paris.
- FAO-UNESCO, 1978a: Soil Map of the World. Volume X Australia. Paris. <https://doi.org/10.1038/1791168c0>.
- FAO-UNESCO, 1978: Soil map of the world. Volume VIII- North and Central Asia.
- FAO-UNESCO, 1976 : Carte mondiale des sols. Volume VI Afrique Afrique. Paris.
- FAO-UNESCO, 1975a: Soil map of the world. Volume III Mexico and Central America. Paris. <https://doi.org/10.1038/1791168c0>.
- FAO-UNESCO, 1975b : Carte mondiale des sols Volume I Légende. Paris.
- FAO-UNESCO, 1971: Soil map of the world. Volume IV South America. Paris.
- Ghassemi, F., A.J. Jakeman, H.A. Nix, 1995: Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies, CABI Publi. ed. Wallingford, 526 p.
- Machado, R. M. A., Serralheiro, R. P., 2017: Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30.
- Kovda, V., Szabolcs, I., 1979: Modelling of soil salinization and alkalization: supplementum. *Agrokemia es Talajtan (Agrochemistry and Soil Science)*, 207 p.

- Lamouroux, M., 1969 : Carte pédologique du Togo au 1/1000000. Paris (France).
- MAAO, 2014 : Gestion des sols, des substrats et de la qualité de l'eau [WWW Document]. Guid. des plantes pépinière d'ornement, Cult. lutte intégrée. URL <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub841/pub841ch1.pdf>
- Massoud, F.I., 1981: Salt affected soils at a global scale for control. FAO Land and Water Development Division Technical Paper, Rome, Italy, 21 p.
- Nguyen-Queyrens, A., N. Derré, A. Lamant, P. Seillac, 1995 : Tolérance au chlorure de sodium et sélectivité Na/K chez 3 races géographiques de pin maritime (*Pinus pinaster* Ait). Ann. des Sci. For. 52, 465–475. <https://doi.org/10.1051/forest:19950506>
- Peterson, H.G., 1999: Water quality and Micro-irrigation for Horticulture. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 4 p.
- Richards, L.A., 1954: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Salinity Staff, Scientific publishers, Washington DC, 160 p.
- Saadat, S., Homaei, M., 2015: Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. Agric. Water Manag. 152, 119–124. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.008>.
- Saidi, D., Y. Le Bissonnais, O. Duval, Y. Daoud, A. Halitim, 2004 : Effet du Sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine de Cheliff (Algérie). Etude Gest. des Sols 11, 81–92.
- Sene, J.H.B., F. Matty, M. Diatta, 2014 : Caractérisation des sols de la vallée rizicole de Tamra dans l'île de Mar, Centre-Ouest du Sénégal. Int. J. Biol. Chem. Sci. 8, 794–810.
- Shahid, A.S., M. Zaman, L. Heng, 2018: Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem, in: Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. (Eds.), Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. pp. 43–53. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3>.
- Szabolcs, I., 1989: Salt-Affected Soils, CRC Press. ed. Boca Raton, USA, 274 p.