



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADREF/DERD

• Mai 2002 •

PNTTA

Le Générateur d'Acide Sulfurique (SAG)

Une nouvelle technologie pour réhabiliter les sols salins-sodiques

Introduction

Les ressources en eau pour l'agriculture en zones arides et semi-arides sont limitées, surtout si on les compare aux besoins des populations locales. Dans ces régions, l'extension et le développement de l'agriculture exigent le développement de l'agriculture irriguée. Cependant, si l'irrigation contribue généralement et de façon rapide à l'augmentation de la production agricole et à l'amélioration de la qualité de vie des populations rurales des pays en voie de développement, son extension est souvent accompagnée de sérieuses menaces sur la préservation de l'environnement et surtout la qualité des sols.

En milieu aride, le passage à l'irrigation présente un risque de salinisation et/ou d'alcalinisation des sols dont les manifestations ont pu être identifiées dans de nombreuses situations irriguées à travers le monde. Ceci a pour principale conséquence la baisse de la fertilité, voir la perte à court et à moyen terme de nombreux sols, mettant en danger le développement de ces régions.

Au Maroc, la plupart des études post-projet réalisées dans les différents périmètres irrigués ont montré que des sols initialement non salés sont devenus salés après irrigation. Actuellement, la superficie des sols salés au Maroc est estimée à 350 000 ha, soit environ 35% de l'ensemble des terres actuellement irriguées.

L'amélioration des propriétés physiques et chimiques d'un sol affecté par des sels solubles et/ou une accumulation sélective de sodium consiste à débarrasser le complexe et la solution du sol des ions alcalinisants. Pour les sols calcaires, ce qui est le cas de la plupart des sols du Maroc, l'acide sulfurique reste le moyen le plus efficace et le plus rapide pour la réhabilitation de ces sols. Cependant, les problèmes liés à la manutention et à la manipulation de cet amendement ont limité son utilisation au Maroc.

Pour contourner ces difficultés, SweetWater Farming Inc. (Utah, USA) a développé une nouvelle technologie. Il s'agit du traitement de l'eau d'irrigation sur place à l'aide d'un générateur d'acide sulfurique (SAG).

Cette technologie a été testée par l'IAV Hassan II sur différentes cultures (maïs, agrumes, pêche et tomate) dans les régions du Tadla, Haouz et Souss-Massa en utilisant différents systèmes d'irrigation (gravitaire et goutte à goutte).

L'objectif de ce bulletin est de présenter les résultats du test de cette technologie pour la réhabilitation d'un sol salé-sodique d'une ferme agricole dans la région de Souihla. Les objectifs spécifiques sont:

- Effet de l'acide sulfurique sur la qualité de l'eau,
- Le dessalage et la desodification d'un sol de Souihla par l'acide sulfurique, et
- L'amélioration des propriétés physiques des sols sodiques par le traitement de l'eau d'irrigation.

Présentation du SAG

Le SAG "Sulfuric Acid Generator" est une machine développée par SweetWater Farming Incorporation de Utah (USA). Un prototype a été offert par cette société à l'IAV Hassan II, pour tester son application au Maroc, afin de traiter l'eau d'irrigation alcaline en vue de la réhabilitation des sols alcalins. Le schéma de la machine et de son fonctionnement sont présentés dans la figure 1.

Le fonctionnement du SAG

A partir d'un conteneur (A) (Figure 1), le soufre élémentaire descend par gravité à la chambre de combustion (B). A une température supérieure à 205°C, le soufre élémentaire est oxydé pour donner le dioxyde de soufre (SO₂). Ce gaz est transféré vers une deuxième chambre (C₁) où il se mélange avec l'eau d'irrigation. Le SO₂ est un gaz très soluble dans l'eau et le produit de solubilisation est l'acide sulfureux (H₂SO₃) qui est un acide fort.

L'eau chargée en H₂SO₃ sort de la sortie (S₁). Au contact de l'oxygène de l'air, H₂SO₃ se transforme en H₂SO₄. L'excès de SO₂ part dans la chambre (C₂). Les sorties S₁ et S₂ sont connectées au réseau d'irrigation qui peut être gravitaire, aspersion ou localisé (goutte à goutte). Dans le cas de la ferme Souihla, c'est l'irrigation goutte à goutte qui est utilisée. Le

SOMMAIRE

n° 92

Salinité des sols

- Présentation du SAG..... p.1
- Test du SAG sur agrumes dans le Haouz..... p.2
- Action du SAG sur la qualité de l'eau d'irrigation.... p.3
- Action du SAG sur la qualité du sol..... p.3

pH désirée de l'eau pour l'irrigation peut être ajusté en agissant sur le taux de mélange entre l'eau traitée (débit maximal de la machine est de 6 l/s) et l'eau non traitée.

L'action du SAG sur l'eau et le sol

Dans l'eau d'irrigation alcaline, le bicarbonate et le calcium du sol ont généralement tendance à former le carbonate de calcium. Ainsi, suite à la précipitation du CaCO₃, le ratio Na/Ca dans la solution du sol augmente, ce qui se traduit par une accumulation du Na (sodium) sur le complexe d'échange du sol. Ce fait cause une diminution de la porosité et de la capacité d'infiltration et une tendance à l'accumulation des sels dans le sol.

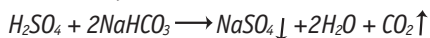
Le SAG permet au calcium précipité de retourner à la solution du sol suite à la solubilisation des carbonates. L'action du SAG agit dans deux sens:

Montage du SAG dans une ferme de la région d'Agadir

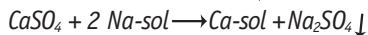


● Le traitement de l'eau d'irrigation aide à éliminer la déposition des carbonates de calcium qui peuvent boucher les orifices des tuyaux d'irrigation.

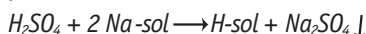
● Le traitement de l'eau d'irrigation améliore son action en réduisant l'effet nuisible du sodium, ce qui permet d'améliorer l'aération du sol et le taux d'infiltration de l'eau. L'effet de l'eau traitée par le SAG sur l'eau et le sol est illustré par les réactions suivantes:



pour les sols calcaires



pour les sols non calcaires



Test du SAG sur agrumes dans la région du Haouz

Travaux sur le terrain

Les travaux de terrain ont commencé par le choix du site pour l'installation du SAG. Nous avons choisi une parcelle expérimentale située au niveau d'une ferme de la Compagnie Souihla au niveau du Haouz central. Cette parcelle est plantée en agrumes (variété Nour).

Des prélèvements d'échantillons du sol peu évolués d'apport alluvial de la ferme pour la caractérisation initiale ont été effectués à l'aide d'une tarière à cinq niveaux de profondeur: 0-20; 20-40; 40-60; 60-80; 80-100 cm. La collecte des échantillons d'eau a été effectuée avant et après traitement avec le générateur d'acide sulfurique. La parcelle est irriguée quotidiennement par le système goutte à goutte. Les dates de prélèvement du sol sont présentées dans le tableau 1. Les quantités d'eau apportées quotidiennement sont présentées dans le tableau 2.

La perméabilité verticale dans les horizons superficiels des sols et la conductivité hydraulique en profondeur des sols ont été mesurées. Trois stations de mesures de perméabilité Muntz et de conductivité hydraulique Porchet ont été réalisées à l'état initial et final.

Les données climatiques provenant de la station de la compagnie Souihla montrent qu'il n'y a pas eu de précipitation durant la période d'expérimentation du 21 Avril au 26 Mai 1999. De faibles précipitations (2 mm le 6 Avril) ont été enregistrées avant l'installation de l'essai.

Les températures moyennes enregistrées pendant les mois d'Avril et Mai sont respectivement 18,8 et 22,4 °C. Les températures varient entre un minimum de 5,5 °C et un maximum de 36 °C pour le mois d'Avril, et un minimum de 7,5 °C et un maximum de 41°C pour le mois Mai.



Salinisation du sol suite à l'irrigation (Pêcher dans la région de Souihla)

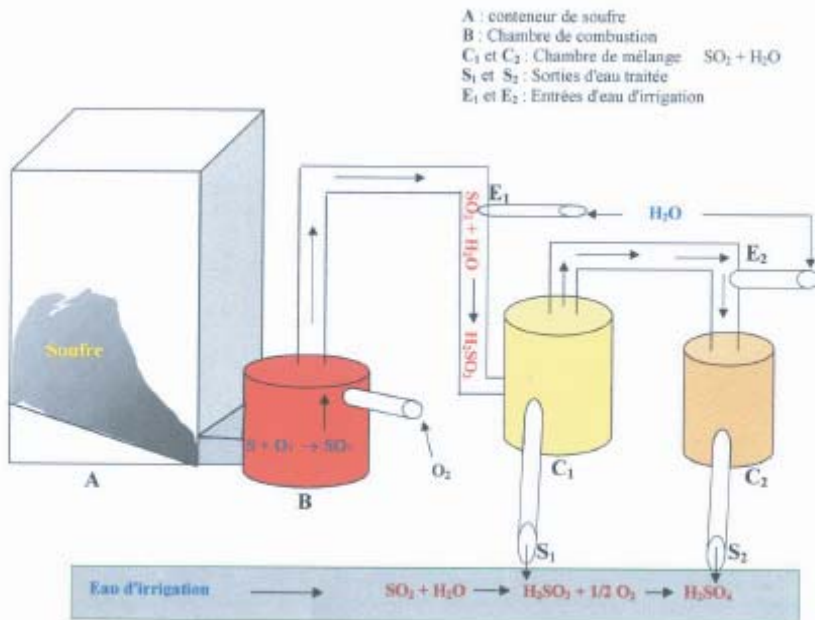


Figure 1: Schéma illustré du fonctionnement du Générateur d'Acide Sulfurique

Analyses au laboratoire

Afin d'apprécier la qualité de l'eau d'irrigation, les analyses suivantes ont été réalisées:

● **pH:** mesuré par pH-mètre à électrode de verre.

● **CE (conductivité électrique):** a été mesurée par un conductimètre.

● **Sels solubles:** Les ions déterminés sont Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻.

Afin de caractériser les propriétés physico-chimiques des sols étudiés, les analyses suivantes ont été réalisées: pH, CE de l'extrait de la pâte saturée, calcaire total (CaCO₃), CEC (Capacité d'Echange Cationique), bases échangeables, bilan ionique de l'extrait de la pâte saturée, granulométrie et réserve utile (RU). L'évolution de la qualité des sols de la parcelle irriguée par l'eau traitée a été caractérisée en mesurant le pH, la CEps (Conductivité électrique de la pâte saturée), le SARps (Ratio d'Adsorption du Sodium de la pâte saturée) et l'ESP (Pourcentage du Sodium Echangeable).

Qualité de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau du barrage, utilisée pour l'irrigation, est présentée dans le tableau 3.

A partir de ce tableau on peut conclure que:

● Selon la classification de l'US Salinity Laboratory Riverside (1954), l'eau utilisée pour l'irrigation est classée en C2 S1. Dans des conditions favorables (bonne perméabilité et drainage), cette eau est de bonne qualité car elle présente un faible danger d'alcalinisation et un risque moyen de salinisation.

● Les problèmes liés au bicarbonate et au chlore sont à éliminer.

Qualité initiale du sol

Le sol de la parcelle expérimentale présente une texture équilibrée à fine et une CEC moyenne (11,5 < CEC < 14,0). Il présente généralement une teneur faible en calcaire (< à 5%). Il est moyennement basique et présente peu de variation avec la profondeur.

La perméabilité de la parcelle est très faible à faible (K: 0,37 à 0,63 cm/h), en raison de la forte teneur en Na⁺ échangeable (ESP > 15% en surface). Donc, l'accumulation des sels dans

A : conteneur de soufre
B : Chambre de combustion
C₁ et C₂ : Chambre de mélange SO₂ + H₂O
S₁ et S₂ : Sorties d'eau traitée
E₁ et E₂ : Entrées d'eau d'irrigation

Tableau 1: nombre et dates de prélèvement du sol

	prélèvements					
	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}
Dates	D ₁ *	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆ **
	21/04/99	29/04/99	05/05/99	12/05/99	19/05/99	26/05/99

* : état initial ** : état final

Tableau 2: quantité d'eau apportée pour la parcelle traitée

Nombre de plants	Superficie parcelle en ha	Nbre d'irrigations	Nbre d'heures	Débit moyen par goutteur	Quantité d'eau apportée l/ha.h	Quantité d'eau apportée m ³ /ha.h
2.496	4,5	1 fois/j	2h	3,75 l/h	12.480	12,48

Tableau 3: Composition ionique de l'eau d'irrigation à l'état initial

Eau	pH	CE dS/m	Ca ⁺⁺ még/l	Mg ⁺⁺ még/l	Na ⁺ még/l	K ⁺ még/l	SAR (még/l) ^{1/2}	Cl ⁻ még/l	SO ₄ ⁻ még/l	HCO ₃ ⁻ még/l
	8,40	0,56	3,60	2,30	1,18	0,07	0,69	1,60	3,64	3,50



Montage du SAG sur un réseau d'irrigation gravitaire (en haut) et alimentation du SAG par le soufre en poudre (sac ci-contre).

cette parcelle est due essentiellement à la remontée des sels par évaporation et à la faible perméabilité que présente ce sol.

La situation initiale, présentée ci-dessus, ne montre pas la vraie situation de la salinité et de la sodicité dans la ferme. Les prélèvements utilisés pour la caractérisation de la situation initiale avant irrigation ont été réalisés sous les goutteurs, donc au centre du bulbe d'humectation. Des prélèvements en dehors du bulbe montrent une concentration plus élevée en sels et des ESP plus élevés (Tableau 4) pour la même parcelle. En effet, la CE varie entre 6,2 dS/m en surface et 2,7 dS/m en profondeur. L'ESP se situe entre 31% dans les 60 premiers cm et 18,4 % entre 80 et 100 cm de profondeur.

Signalons que la parcelle traitée est aménagée en sillons pour évacuer l'excès de sel et de sodium. Cet aménagement foncier a effectivement réduit la salinité et la sodicité sans pour autant les éliminer. En effet, une parcelle non encore aménagée et non irriguée montrent des valeurs de sodicité et de salinité encore plus graves (Tableau 4). L'ESP est très élevé, il varie de 39,7% en surface à 26 % en profondeur. La CE est également plus élevée puisqu'elle se situe à 10,6 dS/m en surface et 5,3 dS/m en profondeur.

Les observations de terrain montrent que l'infiltration de l'eau est très faible dans ces zones. Donc, le problème de la salinité et de la sodicité dans cette ferme est très sérieux. La stagnation d'eau après les pluies ou après irrigation est un phénomène courant.

Action du SAG sur la qualité de l'eau d'irrigation

Il s'agit du traitement de l'eau d'irrigation avec une machine génératrice d'acide sulfurique à partir de soufre sublime. La machine traite un débit moyen d'environ 6 litres/s. L'eau traitée est injectée dans la conduite principale d'irrigation qui assure la liaison entre l'unité de tête et le porte rampe, par deux sorties. La sortie 1 est la principale eau traitée et la sortie 2 constitue un complément d'utilisation de l'excès du soufre gazeux qui n'a pas été solubilisé. Les caractéristiques des eaux traitées sont représentées dans le tableau 5.

L'eau traitée évacuée dans le canal par les deux sorties 1 et 2 est mélangée avec l'eau brute (non traitée) pour faire un débit total d'environ 30 l/s. Le rapport de mélange est donc d'environ 6 l/s d'eau traitée avec 24 l/s d'eau non traitée, soit un rapport en volume d'environ 1/4.

La comparaison entre les caractéristiques des deux eaux: initiale et traitée et mélangée sont présentées dans le tableau 6.

Réduire le pH de l'eau d'irrigation est l'objectif principal de l'utilisation du SAG. En effet, on

constate d'après les résultats obtenus que l'eau qui était moyennement basique (pH 8,4), est devenue faiblement acide (pH 6,0) après avoir été traitée et mélangée (Tableau 5). Cette réduction de pH est très bénéfique pour les eaux fortement basiques, car elle peut faciliter la solubilisation et l'assimilation de certains éléments nutritifs et plus particulièrement les oligo-éléments. En outre, l'utilisation de cette eau légèrement acide est surtout préconisée en fertigation, dont la préparation de la solution nutritive constitue une étape primordiale. En effet, des eaux à pH légèrement acide constituent un milieu favorable à la solubilisation des éléments apportés. Le pH de l'eau d'irrigation peut être ajustée en jouant sur le rapport du mélange eau traitée - eau non traitée.

A travers le tableau 6, on déduit aussi une légère augmentation de la conductivité électrique. En effet, la variation de la composition ionique de l'eau durant le traitement est à l'origine de cette faible augmentation. Signalons que les eaux appartiennent à la même classe de salinité (C2).

En conclusion, le traitement de l'eau d'irrigation, qui est initialement alcaline (teneur élevée en bicarbonates et pH de 8,4), permet de corriger l'alcalinité et de diminuer le pH. Une légère augmentation de la CE est pendante, enregistrée, suite à l'ajout des SO_4^{2-} . Ce changement de la qualité de l'eau aura nécessairement un impact sur le sol.

Action du SAG sur la qualité du sol

Cinq paramètres ont été retenus pour suivre et contrôler l'effet du traitement de l'eau d'irrigation sur les caractéristiques physico-chimiques du sol.

Effet sur la salinité

La salinité globale a fortement diminué dans tout le profil du sol (Figure 2). Partant de 3 dS/m en surface, la CE s'est stabilisée aux environs de 1dS/m. Ces diminutions de salinité s'expliquent par le fait que le traitement de l'eau d'irrigation par l'acide sulfurique agit sur le sol en améliorant sa perméabilité (voir effet sur la perméabilité). Le sol étant encore plus humide par la dernière irrigation, le surplus de l'eau de bonne qualité a permis le dessalage du sol en particulier les deux premiers horizons (0-20 et 20-40 cm).

Effet sur l'ESP du sol

L'effet le plus spectaculaire est celui de la réduction du Pourcentage de Sodium Echangeable (ESP) surtout dans les 40 premières cm du sol (Figure 3). En effet, on a constaté qu'en surface (0-20cm), l'ESP initial a été réduit d'une manière considérable après une seule semaine d'irrigation avec l'eau traitée. La valeur de l'ESP

Tableau 4: Etats initiaux de la parcelle aménagée en sillons en dehors du bulbe d'humectation et de la parcelle non aménagée

Profondeur (cm)	Parcelle aménagée en sillons			Parcelle non aménagée		
	CE (dS/m)	CEC (Még/100 g)	ESP (%)	CE (dS/m)	CEC (Még/100 g)	ESP (%)
0-20	6,2	16,6	31,8	10,6	14,3	39,7
20-40	4,4	15,5	31,8	9,3	14,3	37,0
40-60	5,0	14,3	31,1	7,9	13,2	35,3
60-80	3,3	12,1	26,6	6,9	14,3	29,5
80-100	2,7	15,5	18,4	5,4	13,2	26,2

Tableau 5: composition ionique des eaux d'irrigation avant et après traitement

	Eau d'irrigation initiale	Eau d'irrigation traitée et mélangée	Unité
pH	8,40	6,00	unité
CE	0,56	0,64	dS/m
Ca ⁺⁺	3,60	4,60	még/l
Mg ⁺⁺	2,30	2,20	még/l
Na ⁺	1,18	1,18	még/l
K ⁺	0,07	0,07	még/l
S ⁺	7,15	8,05	még/l
SAR	0,69	0,64	(még/l) ^{1/2}
Cl ⁻	1,60	1,55	még/l
SO ₄ ⁻	3,64	4,89	még/l
HCO ₃ ⁻	3,50	0,95	még/l
S ⁻	8,74	7,39	még/l

Tableau 6: composition ionique des eaux d'irrigation des deux eaux d'irrigation traitée et non traitée

	Eau d'irrig. initiale	Eau d'irrigation Traitée		Unité
		Sortie 1	Sortie 2	
Température	25	45	25	°C
pH	8,40	2,28	6,75	unité
CE	0,56	1,46 (0,73)**	0,60	dS/m
Ca ⁺⁺	3,60	3,60	3,70	még/l
Mg ⁺⁺	2,30	2,20	2,20	még/l
Na ⁺	1,18	1,28	1,18	még/l
K ⁺	0,07	0,07	0,07	még/l
SAR	0,69	0,75	0,69	(még/l) ^{1/2}
Cl ⁻	1,60	0,25	1,05	még/l
SO ₄ ⁻	3,64	9,85	5,38	még/l
HCO ₃ ⁻	3,50	0,15	2,15	még/l

** : CE corrigée à 25°C

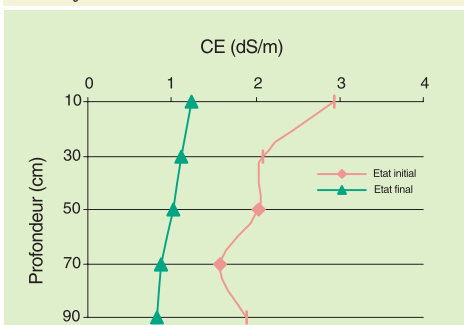


Figure 2: Evolution de la CE de la parcelle traitée

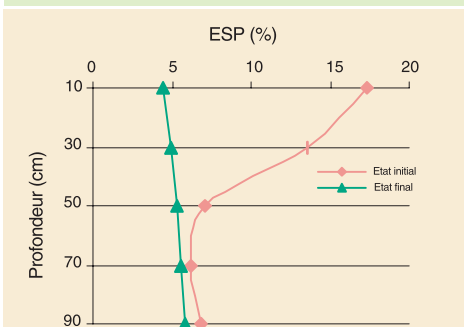
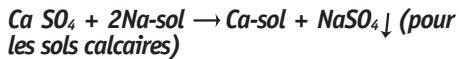
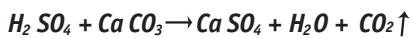


Figure 3: Evolution de l'ESP de la parcelle traitée



est passée de 17,38% à 5,48%. Cette diminution est la conséquence directe de l'échange Ca-Na et la lixiviation du sodium en profondeur au delà de 100 cm.

Pour le reste du profil, la variation de l'ESP n'est pas très significative car les valeurs trouvées oscillent toujours aux environs de 5. La diminution de l'ESP dans la parcelle irriguée par l'eau traitée (SAG) peut être expliquée par les réactions suivantes:



Donc, on peut conclure que la diminution de l'ESP est due à l'enrichissement continu de la solution du sol en calcium solubilisé à partir du calcaire du sol, grâce à l'action de l'eau légèrement acide.

Effet sur le SARps du sol

Une diminution importante du Ratio d'Adsorption du sodium par le sol (SAR) (Figure 4) sur tout le profil du sol été enregistrée. Cette diminution est conséquente d'une réduction relativement plus importante du Na⁺ par rapport au Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

La solubilisation de CaCO₃ (voire état final, Figure 6) par l'eau traitée se traduit par un enrichissement relatif de la solution du sol par les ions calcium et magnésium. Durant l'expérimentation, on a constaté que sur les 20 premiers centimètres, le SARps a diminué d'une manière considérable après la première semaine d'irrigation avec l'eau traitée, alors que pour le reste du profil, ce changement n'a pas été important. Ce phénomène, constaté en profondeur après la première semaine d'irrigation, est momentané et est le résultat de l'enrichissement de la solution du sol en Na⁺ provenant du complexe adsorbant de l'horizon de surface. La poursuite de l'irrigation avec l'eau traitée va baisser le SARps, même en profondeur.

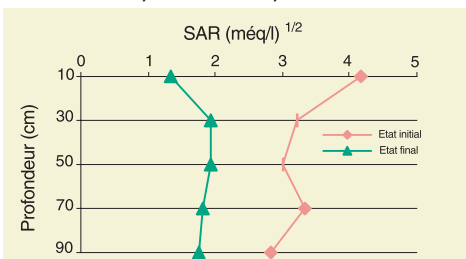


Figure 4: Evolution du SARps de la parcelle traitée

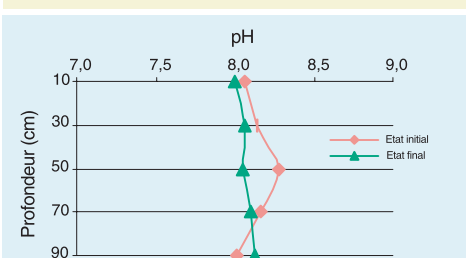


Figure 5: Evolution du pH de la parcelle traitée

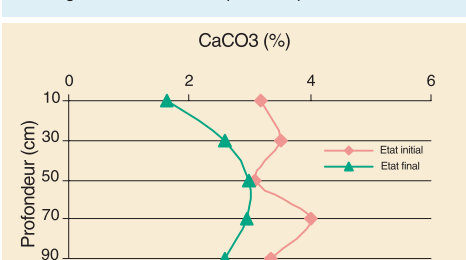


Figure 6: Evolution du CaCO₃ de la parcelle traitée

On peut donc conclure que le traitement de l'eau par le SAG permet au calcium précipité de retourner à la solution du sol et contrôler le ratio Na/Ca de cette solution. Notons aussi que ce ratio, qui était initialement supérieur à 1 (soit 1,06), a été réduit à 0,61 après la dernière semaine d'irrigation.

Effet sur le pH du sol

Le pH n'a pas enregistré de diminutions significatives après 5 semaines d'irrigation par l'eau traitée (Figure 5). Les protons apportés par l'eau ont été neutralisés par la dissolution du carbonate de calcium. Ce résultat montre que, malgré le fait d'irriguer avec une eau à pH 6 durant 5 semaines, le pH du sol n'a pas significativement diminué. L'excès de proton H⁺ amené par l'eau d'irrigation est continuellement neutralisé par les carbonates.

Effet sur la perméabilité du sol

L'irrigation avec l'eau traitée a eu un effet très significatif sur la perméabilité. En effet, la valeur moyenne trouvée à l'état initial est de 0,46 cm/h. A l'état final, cette valeur a augmenté pour atteindre une moyenne de 21,5 cm/h. Autrement dit, la perméabilité verticale est passée d'un état très faible à un état élevé (K>20 cm/h). La variation de la conductivité hydraulique a montré une amélioration significative. Elle est passée d'une moyenne de 0,63 m/j à l'état initial à une valeur de 2,38 m/j à l'état final après irrigation avec l'eau traitée.

D'après ce qui précède, on constate que le traitement de l'eau d'irrigation par le générateur d'acide sulfurique a eu un effet très hautement significatif sur les propriétés physico-chimiques du sol suivantes: conductivité électrique; ESP; composition ionique de la solution du sol (SARps) et la perméabilité. Cet effet est dû en grande partie à la qualité de l'eau d'irrigation traitée. L'irrigation avec cette eau traitée a engendré, avec le temps, une désalinisation et une désodification rapides du sol, toute en améliorant la perméabilité et l'agrégation du sol qui vont faciliter la lixiviation des sels.

Cependant, sous irrigation goutte à goutte, seule la partie humectée est désalinisée et désodifiée (Figures 7, 8 et 9). Les sels s'accumulent en dehors des zones humectées. Des irrigations par submersion ou des fortes pluies sont nécessaires pour lixivier les sels et le sodium accumulés dans les zones non touchées par l'irrigation ■.



Eau traitée par le SAG et versée dans un bassin d'accumulation ou directement dans le réseau gravitaire

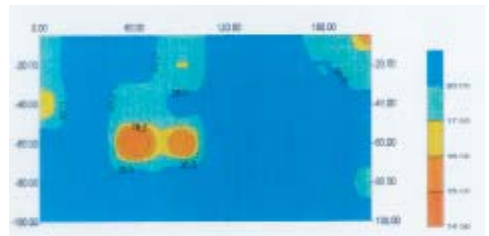


Figure 7: Variation de l'humidité en fonction de la profondeur du sol entre deux goutteurs

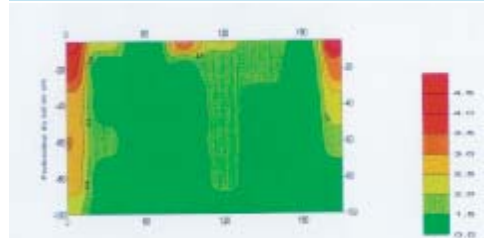


Figure 8: Variation de la conductivité électrique en fonction de la profondeur du sol entre deux goutteurs

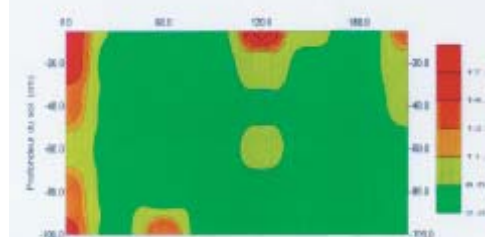


Figure 9: Variation de l'ESP en fonction de la profondeur du sol entre deux goutteurs

Résumé

Le générateur d'acide sulfurique est une méthode pratique pour traiter l'eau d'irrigation. Il a été spécialement créé pour améliorer la qualité des eaux et des sols contaminés par le sodium. En effet, l'analyse des résultats expérimentaux de cette étude permet de tirer des conclusions concernant l'effet de ce traitement sur l'évolution des qualités de l'eau et du sol.

- La salinité a diminué après chaque semaine d'irrigation avec l'eau traitée.
- Une diminution importante de l'ESP après une seule semaine d'irrigation avec l'eau traitée.
- En surface, le SARps a continuellement diminué après chaque semaine d'irrigation avec l'eau traitée.
- L'irrigation avec une eau traitée légèrement acide n'a pas eu d'effet très significatif sur le pH du sol.
- L'enrichissement continu de la solution du sol par les ions Ca⁺⁺ résultant de la solubilisation du calcaire existant dans le sol a amélioré considérablement la perméabilité de sol.
- La variabilité spatiale de l'humidité sous irrigation goutte à goutte, montre que seulement la partie située sous les goutteurs est réhabilitée.
- Une autre conclusion qui n'a pas été analysée, mais observée sur le terrain, est l'augmentation des débits après débouchage des goutteurs. Aussi, nous avons observé une élimination des algues qui se développent sur le réseau d'irrigation gravitaire ■.

M. Badraoui, J. Bourakhouadar
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

E.W. Jackson
Sweetwater Farming Incorporation, Utah, USA
www.i-sweetwater.com

D. Tessier
Institut National de la Recherche Agronomique Versailles, France