

## Le déficit de l'utilisation de l'eau géothermale et des substrats locaux pour l'installation de la culture hors sol chez les petits agriculteurs au sud tunisien

Nadia Elabed<sup>1</sup>, Asma Bouhris<sup>2</sup>, Mohamed Elawad<sup>3</sup>, Mansour Haddad<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Technical center of protected and geothermal crops, Gabes, Tunisia,

<sup>2</sup>Department of biology, Faculty of sciences of Sfax, Tunisia,

<sup>3</sup>Technical center of protected and geothermal crops, Gabes, Tunisia,

<sup>4</sup>Aridculture and oasis cultures laboratory, Institute of Arid Regions, Gabes, Tunisia,

### Résumé

*Au sud tunisien l'exploitation des eaux géothermales a été une opportunité pour le développement agricole des cultures intensives protégées. Dans cette partie de la Tunisie, la production de légumes atteint 30 000 tonnes dont 35% sont exportés. Cependant les maladies telluriques et la salinisation du sol ont fragilisé ce secteur et ont rendu sa durabilité à l'épreuve.*

*L'objectif principal de la présente étude est de résoudre ces problèmes par la culture hors sol en utilisant des substrats locaux adaptés à la salinité de l'eau d'irrigation et un système local durable. En le comparant avec la culture en plein sol on a pu économiser jusqu'à 60% d'eau d'irrigation et 30% des apports d'azote et de potassium. Nos travaux de recherche ont été effectués pendant plusieurs campagnes sur la culture de tomate. L'expérience a été réalisée en blocs complètement aléatoires en cinq répétitions, pour comparer à chaque fois trois substrats locaux avec le substrat importé les fibres de coco comme témoin positif et la culture en plein sol comme témoin négatif. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, du sol et des différents substrats ont été analysées au début et à la fin de chaque campagne agricole. Une augmentation significative du rendement, du poids des fruits, de la longueur des plantes et du diamètre des tiges est enregistrée dans les substrats par rapport au sol. En plus, nos résultats ont révélé que les substrats organiques locaux, pourraient être des alternatives prometteuses au substrat de fibres de coco importé dans les cultures hors-sol.*

**Mots clés :** Inventaire, Evaluation, Géomorphosites, Talassemtane, IGUL

**Mots-clés :** Culture hors sol, Eaux géothermales, Substrats locaux, Analyse physico-chimique.

## The challenge of using geothermal water and local substrates for the installation of soilless culture among small farmers in southern Tunisia

### Abstract:

*In southern Tunisia, the exploitation of geothermal waters was an opportunity for the agricultural development of protected crops. In this part of Tunisia, vegetable production reaches 30,000 tonnes, 35% of which is exported. However, land-based diseases and soil salinization have weakened this sector and put its sustainability to the test.*

*The main objective of the present study is to solve these problems through soilless culture using local substrates adapted to the salinity of the irrigation water and a sustainable local system. Comparing it with soil cultivation, it was possible to save up to 60% of irrigation water and 30% of nitrogen and potassium inputs. Our research was carried out during several campaigns on tomato cultivation. The experiment was carried out in completely random blocks in five replications, to compare each time three local substrates with the imported substrate coconut fibers as a positive control and cultivation in soil as a negative control. The physicochemical characteristics of water, soil and different substrates were analyzed at the beginning and end of each agricultural campaign. A significant increase in yield, fruit weight, plant length and stem diameter is recorded in the substrates compared to the soil. In addition, our results revealed that local organic substrates could be promising alternatives to imported coconut fiber substrate in soilless crops.*

**Key Words:** Soilless cultivation, Geothermal waters, Local substrates, Physicochemical analyses

<sup>1</sup> Corresponding author: [abednadia55@yahoo.fr](mailto:abednadia55@yahoo.fr)

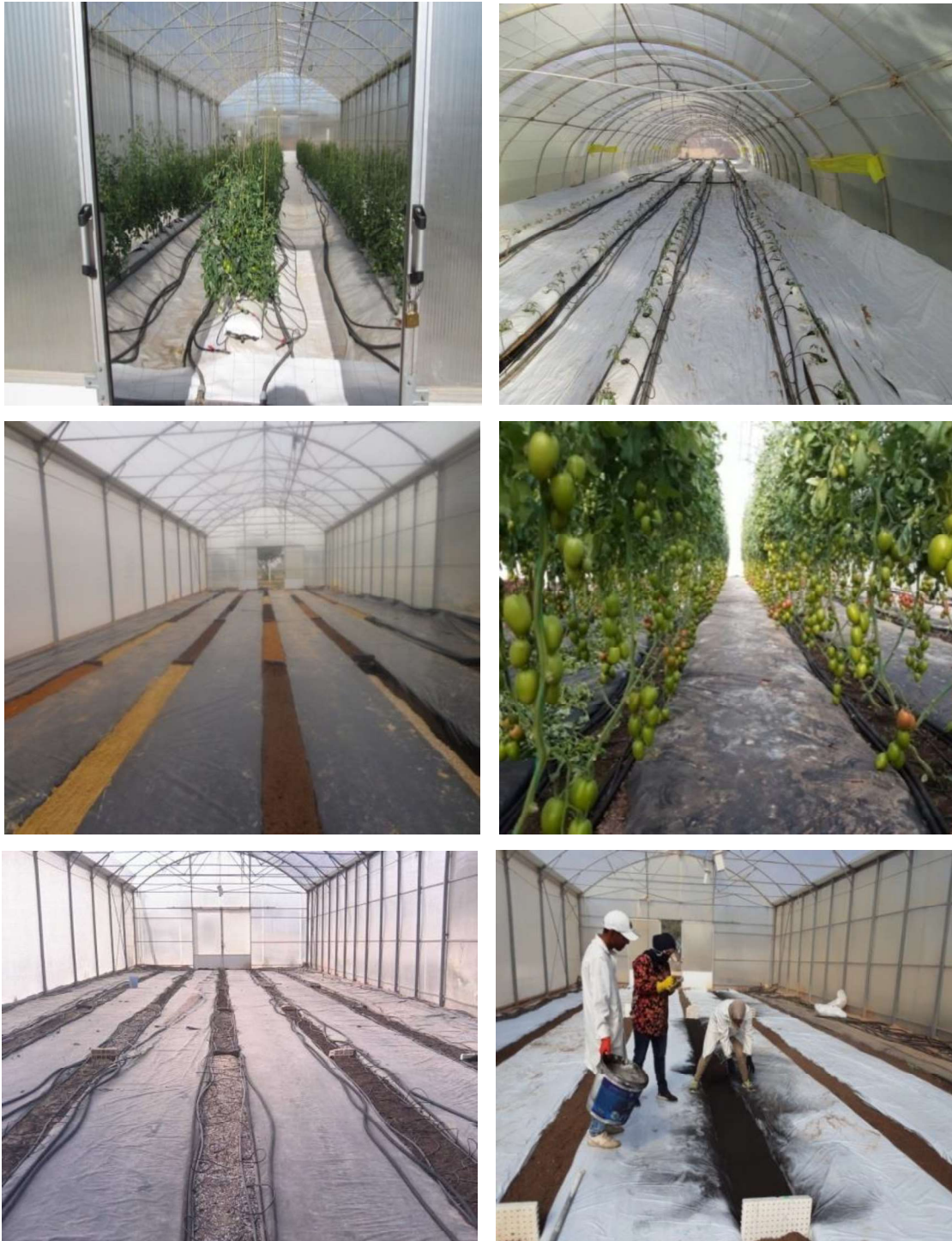
## INTRODUCTION

La Tunisie est l'un des pays les plus touchés par les effets des changements climatiques. Elle fait face aujourd'hui à un grand enjeu, celui de la rareté des ressources en eau. Dans le Sud tunisien, la réalisation de forages profonds dans la nappe du Continental Intercalaire a été exécutée principalement pour la sauvegarde des oasis existantes et a dégagé un potentiel géothermique important qui permette de procéder au chauffage des cultures sous serres à un coût nettement moindre à celui obtenu par le chauffage classique. Par ailleurs, les produits des serres chauffées par la géothermie, gagnant en précocité et livrés en contre saison et selon un calendrier de production judicieusement établi, permettent un meilleur positionnement sur le marché européen et des marges commerciales intéressantes. Cette activité est pratiquée actuellement (2024) par 340 agriculteurs et procure environ 300.000 jours de travail par campagne. Les eaux géothermales du Sud tunisien ont une conductivité électrique (CE) située entre 3,2 et 4,5 dS/m, un résidu sec (RS) entre 2,3 et 4,0 g/l et un taux de sodium adsorbé (SAR) entre 5 et 10 avec une forte teneur en Ca, Mg, Na et Cl. Ces eaux possèdent ainsi des faciès géochimiques chlorurés sulfatés calciques et sont à fort pouvoir de salinisation et à faible pouvoir d'alcalinisation (Ben Hassine et al., 1996) c'est qui a engendré la salinisation et la dégradation des sols après des longues années d'utilisation de ces eaux en irrigation. La culture de deux familles seulement sous serres au sud : les cucurbitacées et les solanacées en intensif a engendré la prolifération de parasites et des maladies telluriques. Par ailleurs la dégradation des sols, le changement climatique et les attaques de parasites et de maladies ont diminué la production de primeurs sous serres dans le sud tunisien.

La culture hors-sol, un système de culture dans des environnements fermés et contrôlés qui nécessite moins d'eau et de produits chimiques comme les engrais, les pesticides et les herbicides, pourrait en partie être la solution à ce problème pour maintenir une activité agricole productive dans les zones où les faibles ressources disponibles en eau et en terres fertiles constituent les principaux freins à la production alimentaire. Les rendements sont supérieurs à ceux de la culture en pleine terre et pour des rendements sains, on peut utiliser des engrais bio. Pour mettre en place l'hors sol, il faut une haute technicité et de lourds investissements : La production de légumes cultivés sur substrat nécessite des installations particulières, un suivi journalier des cultures et de bonnes connaissances techniques, notamment pour le calcul des solutions nutritives. Dans ce contexte il paraît nécessaire de mettre rapidement des outils et des connaissances techniques à la disposition des producteurs. La demande se porte sur la gestion des cultures avec plus particulièrement le choix de système de production, le substrat, le calcul des solutions nutritives et la gestion des irrigations. L'objectif de cette étude est de mettre en place un système de production hors sol adapté aux serres monotunelles, sélectionner des substrats locaux adaptés aux conditions de production et calculer les apports optimaux en substances nutritives.

## MATERIELS ET METHODES

Soucieux de répondre à l'attente des producteurs de légumes sous serres chauffées et irriguées par l'eau géothermale, le centre technique de cultures protégées et géothermiques a commencé ses expériences depuis 2017 pour adapter la culture hors sol aux conditions de production sous serres mono tunnelles chez les petits agriculteurs.



**Fig 1.** Mise en place de différents systèmes de culture hors sol et amélioration des substrats locaux pour l'adaptation de cette technique aux petits agriculteurs

### **Emplacement, matériel végétal et conception expérimentale**

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale du Centre Technique des Cultures Protégées et géothermiques, situées à Chenchou, sud de la Tunisie (33°53'42,0'N, 9°52'31,0'E). Ce site est situé à une altitude de 72 mètres au-dessus du niveau de la mer, le climat est désertique subtropical. L'expérience a été réalisée sous un tunnel de 300 m<sup>2</sup> (9,6 x 31,0 m) recouvert d'un film de polyéthylène de 200 µm, en blocs complètement aléatoires avec cinq répétitions et cinq traitements : (1) témoin négatif (sol limoneux sableux : SO); (2) sable de l'oued (SA), (3) compost de tronc de palmier dattier (PT) ; (4) compost de résidus

de palmier dattier (70%) + fumier ovin (30%) (PM) ; et (5) de la fibre de coco comme témoin positif (CF) (substrat commercial importé). Les substrats sont mises en place dans des fossées isolées du sol par un film plastique rigide pour bénéficier de l'effet tampan du sol lors des périodes froides et libérer le maximum de hauteur pour le palissage des plants de tomate sous serres monotunelles, type de serres utilisé par les petits agriculteurs.

### Les paramètres mesurés

Les plantes ont été cultivées pendant une période de neuf mois et les indices de croissance comprenant le diamètre de la tige (mm), la hauteur de la plante (cm) et le nombre de feuilles ont été mesurés tous les deux semaines. A la fin de l'expérience, les plantes entières ont été récoltées et le poids sec des racines (g/plante) et de la partie aérienne (g/plante) ont été mesurés. A chaque récolte, les fruits mûrs étaient récoltés et pesés pour déterminer le poids moyen des fruits et les rendements commercialisables. Les échantillons destinés à l'évaluation de la qualité des fruits ont été collectés en mars. Chaque répétition était composée de six tomates sélectionnées de fruits collectés sur 10 plantes par traitement. Les tomates ont été coupées en quatre parties. Un quart de chacun des six fruits a été combiné pour obtenir une réplique (un total de six quarts) et homogénéisé avec un mélangeur à main. L'homogénat résultant a été utilisé pour la détermination du Brix, du pH et de l'acidité titrable et des sucres totaux le même jour que la récolte.

Certaines caractéristiques physicochimiques des substrats de culture ont également été évaluées. La densité apparente et la capacité de rétention d'eau ont été analysées selon les normes européennes standards décrites par Tittarelli et al. (2009). La conductivité électrique (CE) et le pH ont été déterminés avec un rapport de 1:5 (Asiah et al., 2004).

### Solutions nutritives à base d'engrais simples

En partant de la solution Coic-Lesaint pour la fertilisation des cultures de légumes sur substrat (solution pour plantes neutrophiles type 14,4 milliéquivalents d'azote par litre), la solution nutritive a été modifiée après deux saisons de culture pour la rendre plus adaptée aux conditions de production sous serres irriguées et chauffées par les eaux géothermales. L'eau géothermale contenait des quantités importantes de sels minéraux tel que le calcium, le magnésium, le soufre et le fer et la solution nutritive injectée est composée des engrais à base de NPK. Le besoin en eau est calculé en fonction du stade végétatif et de l'ETP, pour déterminer ensuite le volume et le nombre d'apports de solutions à réaliser. Les périodes de plus faible consommation de solutions nutritives correspondent au début du cycle et aux périodes froides (septembre à novembre) où le plant est encore jeune (300 à 500 CC/plant/j), alors que les moments de forte consommation correspondent aux périodes de pleine croissance par temps chaud, qui s'étalent de mars à juin (1 à 2 L/plant/j). L'injection est étalée sur toute la journée et s'arrête la nuit. Le déclenchement du premier apport a lieu en début de matinée. Les périodes d'injection à éviter sont surtout le milieu de la journée par temps chaud où les stomates sont fermés, ce qui réduit la consommation en fertilisants et favorise les pertes inutiles de minéraux dans le drainage.

**Tab. I** - Solution nutritive adaptée à la tomate indéterminée hors sol au sud tunisien

	NO <sup>3-</sup>	NH <sup>4+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HPO <sup>4-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Eau géothermale	0	0	0.83	12	9.5	0	10
Norme de fertilisation	12	2	9,5	9,4	4,8	2	4,5
Solution nutritive	12	2	8,67	0	0	2	0

L'eau géothermale dans notre expérience contient suffisamment de calcium, magnésium et soufre pour couvrir la demande d'une culture de tomate sous serre. On ajoute d'abord l'acide phosphorique pour couvrir une partie des besoins de plantes en phosphore et maintenir le pH de l'eau d'irrigation entre 5,5 et 6,5, niveau d'acidité auquel le carbonate de calcium et le carbonate de magnésium restent en solution, L'acidification

dissout les précipités qui se forment dans le système d'irrigation et libère le calcium et le magnésium liés au bicarbonate et le rendre disponibles aux plantes. Puis on ajoute les besoins des plantes en azote et potassium.

**Tableau 2 - Besoins en acides et en engrais pour préparer la solution nutritive**

	Quantité D'engrais/m <sup>3</sup> eau	N0 <sup>3-</sup>	NH <sup>4+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HPO <sup>4-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Eau géothermale		0	0	0.83	12	9.5	0	10
Acide phosphorique 75%	166 ml						2 éq	
Nitrate de potassium	885 g	1,85 éq		8,67 éq				
Ammonitre	215 g	0,6 éq	2 éq					

Les engrais utilisés sont principalement des engrais simples : l'acide phosphorique, le nitrate de potassium et l'ammonitre, mais on a utilisé aussi des autres engrais NPK composés pour compléter les besoins des plantes en azote en remplaçant l'acide phosphorique par l'acide nitrique et réduisant la quantité de nitrate de potassium.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

**Tableau 3 - Effet des substrats de culture sur la longueur des plants de tomate**

	15 janvier	30 janvier	15 février	2 mars	17 mars	1 avril
FC	60 a	91,26 ab	113,06 b	134,93 b	145,66 b	165,13 b
SO	56,33 a	80,86 c	97,33 c	120,86 c	131,26 c	147,6 c
SA	60,33 a	88,46 b	109,8 b	132,46 b	143,8 b	161,9 b
PM	57,26 a	86,13 bc	107,73 b	129,40 bc	137,2 bc	157,2bc
PT	62,46 a	97,8 a	122 a	146,40 a	159,46 a	179,33 a

Les résultats de la mesure des longueurs des plantes cultivées sur les différents substrats de culture, à un intervalle de deux semaines, ont montré une différence significative entre les traitements. Les plantes cultivées sur le compost de tronc de palmier dattier étaient les plus hautes suivies par celles cultivées sur le substrat de fibres de coco.

**Tableau 4 - Effet des substrats de culture sur le diamètre des plants de tomate**

	15 janvier	30 janvier	15 février	2 mars	17 mars	1 avril
FC	.081 ab	.097 a	1.1 a	1.22 a	1.35 ab	1.42 a
SO	.073 b	.093 ab	.096 b	0.99 b	1.15 c	1.23 b
SA	.079 ab	.088 b	1.03b	1.06 b	1.2 b	1.29 b
PM	0.80 ab	.094 ab	.098 b	1.07 b	1.25 bc	1.35 ab
PT	0.86 a	.099 a	1.13 a	1.20 a	1.38 a	1.43 a

Au cours des mesures effectuées, le diamètre de la tige variait considérablement ( $P < 0,05$ ) entre les traitements (Tableau 4). Les plantes les plus vigoureuses ont été cultivées sur le compost de tronc de palmier dattier et les fibres de coco avec un diamètre moyen de tige de 14 mm en sixième mesure.

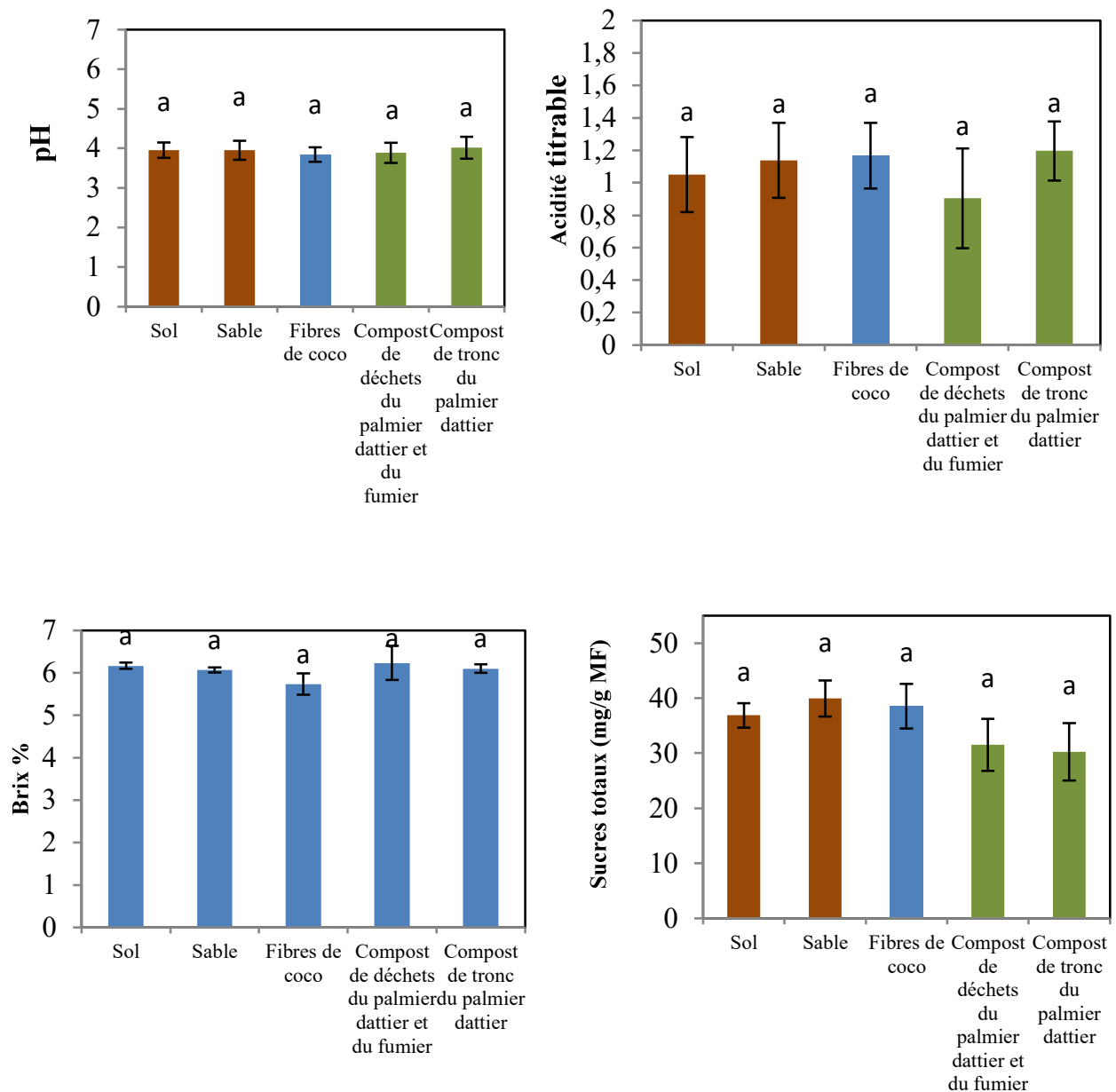
**Tableau 5 - Effet des substrats de culture sur le nombre des feuilles des plants de tomate**

	15 janvier	30 janvier	15 février	2 mars	17 mars
FC	5,13 a	12 ab	14,93 ab	16,73 ab	24,46 ab
SO	5,53 a	11,86 ab	14,46 b	15,26 b	22,8 c
SA	4,66 a	11,73 ab	14,33 b	16,8 ab	23,26 bc
PM	5,2 a	11,26 b	14,33 b	15 b	23,86 bc
PT	5,66 a	12,46 a	15,53 a	17,53 a	25,6 a

**Tableau 6 - Effet des substrats de culture sur le rendement de la culture de tomate ( $\text{Kg/m}^2$ ) et le poids de fruits**

	Rendement ( $\text{Kg/m}^2$ )	Poids de fruits (g)
FC	25	93,19 a
SO	12	92,35 a
SA	14	91,17 a
PM	20	95,59 a
PT	24	91,62 a

Le rendement total des plants de tomate a été influencé par l'utilisation de différents substrats, Les fibres de coco ont donné le meilleur rendement ( $25 \text{ kg/m}^2$ ) alors que les rendements des autres traitements s'organisent comme suit: le compost de tronc de palmier dattier ( $24 \text{ kg/m}^2$ ), le compost de déchets d'oasis et du fumier ( $20 \text{ kg/m}^2$ ), le sable ( $14 \text{ kg/m}^2$ ) et le sol ( $12 \text{ kg/m}^2$ ).

**Analyse de la qualité des fruits**

**Fig 2 :** Degré Brix, pH, sucres totaux, acidité titrable du ju de tomates cultivées sur différents substrats. Les traitements affectés de lettres différents sont significativement différents au seuil de signification 5% selon le test de Duncan.

Une teneur élevée en sucre et un pH faible améliore la qualité des tomates (Davies et Hobson, 1981). Lors de cet expérience, la teneur en matière sèche soluble ( $^{\circ}$ Brix), Le pH, l'acidité titrable et les sucres totaux du jus du fruit de tomate n'ont pas enregistré des différences significatives entre les substrats.

## Caractéristiques physico chimiques des substrats

**Tableau 5-** Propriétés physico-chimiques des substrats étudiés au début et à la fin de culture. PM : compost de résidus de palmier dattier et fumier ovine; PT : compost de tronc de palmier dattier ; CF : fibre de coco, S : sol.

		FC	PT	PM	SA	SO
pH	Début de culture	6,5	6,7	7	7,5	7,8
	Fin de culture	7,1	7	7,2	7,8	7,5
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	Début de culture	6	4	4,2	1,8	2,8
	Fin de culture	12	6,3	6,5	2,5	3,5
Capacité de rétention d'eau	Début de culture	79	50	35	5	15
Densité apparente (%)	Début de culture	0,12	0,26	0,14	1,6	1,4

Un pH recommandé de substrat est de 5,8 à 6,5 pour que tous les éléments nutritifs soient disponibles aux plantes. Les données du tableau 5 montrent qu'il y avait une différence significative concernant le pH et la CE de différents substrats de culture. Le CF était le substrat le plus acide et a enregistré l'EC la plus élevée à la fin de culture. Le sol et le sable ont enregistré le pH le plus élevé mais l'EC la plus faible. Les conductivités électriques de composts dépassent les valeurs optimales des substrats pour la croissance des plantes (0,75 à 3,5 dS.m<sup>-1</sup>) indiquées par Warncke (1986) et celles recommandées par Abad et al. (1997) comme optimum pour la culture hors sol (0,75-1,99).

Les capacités de rétention d'eau des substrats variaient entre 5% et 79 % dans le sable et le FC, respectivement. Les substrats organiques locaux (PM et PT) montrent des valeurs intermédiaires d'environ 35 à 50 %. Une capacité de rétention en eau entre 50 et 70% d'un support de culture est à respecter. Dans cette étude seulement les fibres de coco et le compost de tronc de palmier dattier ont une capacité qui s'approche de l'optimale.

Dans certaines productions hors-sol, la densité apparente peut devenir un critère de sélection de substrat. Un substrat de faible densité est plus adapté pour les productions sous serre qui nécessitent beaucoup de manutention (Wallach 2008). Le sol a enregistré la masse volumique apparente la plus élevée du fait qu'il présente le degré de compactage le plus important. Les substrats organiques (FC, PT et PM) ont les densités respectives 0,12, 0,26 et 0,14.

## Expérience 2

On a mené cet expérience après trois campagnes agricoles pour améliorer la capacité de rétention en eau du compost de tronc de palmier dattier pour réduire le risque de dessèchement de substrat et le flétrissement des plantes et améliorer la qualité et le rendement, par ajout de différents pourcentage de perlite.

## Expérience 3

L'expérience consiste à l'ajout de petite quantité de biochar au compost, produit par pyrolyse de déchets des arbres, procédé qui consiste en un chauffage entre 250°C et 650°C en l'absence d'oxygène. Il en résulte



la production d'un composé solide noir qui est le biochar. La porosité du biochar obtenu lui confère une surface spécifique de 420 m<sup>2</sup>/g qui conduit à de grandes capacités d'adsorption : c'est en quelque sorte un réservoir qui peut stocker jusqu'à deux fois et demie son volume en eau. Quand la plante a besoin d'eau, pendant les périodes de sécheresse, elle ira la chercher dans ce que le biochar a stocké. Le biochar est aussi une solution pour la séquestration à long terme du carbone : une tonne de biochar stocke jusqu'à 3 tonnes de CO<sub>2</sub>. L'expérience a donné des très bons résultats concernant l'amélioration des caractéristiques physicochimiques du compost et l'augmentation du rendement.

## CONCLUSION

Après plusieurs années d'expériences, nos résultats ont montré que la technique de culture hors sol dans des fossées en utilisant le compost de tronc de palmier dattier seul ou amélioré par des autres additifs a donné des rendements proches de ceux de substrat commercial importé les fibres de coco et a contribué à minimiser le coût d'installation de culture d'hors sol.

## Références

- [1] H. Ben Hassine, F. Bouksila, A. Mtimet, C. Zidi, Les cultures sous serres irriguées par les eaux géothermales dans le Sud Tunisien (Tozeur, Kébili et Gabès). Document méthodologique des données de base (eau et sol), (1996).
- [2] F. Tittarelli, E. Rea, V. Verrastro, JA. Pascual, S. Canali, FG. Ceglie Compost-based nursery substrates: effect of peat substitution on organic melon seedlings, *Compost Sci Util*, 17(4) (2009):220–228
- [3] A. ASIAH, I. RAZI, Y. KHANIF, M. MARZIAH, M. SHAHARUDDIN. Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust and Oil Palm Empty Fruit Bunch and the Growth of Hybrid Heat Tolerant Cauliflower Plant, *Pertanika*. *Trap. Agric. Sci.* 27(2) (2004) : 121 - 133
- [4] Davies and Hobson, The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition, and genotype, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15 (1981) 205-280.
- [5] D.Warncke, Analyzing Greenhouse Growth Media by the Saturation Extraction Method, *HortScience*, 21 (1986) 212-223.
- [6] M.Abad, P. Noguera, V. Noguera, A. Roig, J. Cegarra, C. Paredes, Reciclado de residuos organicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 19(1997): 92-109
- [7] R. Wallach, Chapter 3. Physical characteristics of soilless media in soilless culture, *Theory and Practice*. Amsterdam. Elsevier B.V, (2008) 41–116