

L'exploitation des eaux géothermiques pour la production des légumes de contre-saison dans le sud tunisien

HADDAD MANSOUR*, BOUKRIS MEKI**, ABDELAZIZ MOUGOU***

1. Introduction

A l'heure actuelle, pour assurer le chauffage des serres, environ 23 pays utilisent intensivement l'énergie géothermique dans la production de fruits, légumes et fleurs sur une superficie évaluée à 700ha (Popovski, 1993).

En Tunisie, le chauffage des abris-serres a démarré en 1984 pour la production de melon et de tomate de contre-saison, utilisant les eaux géothermiques dans les régions oasiennes du Sud du pays.

En 1980, pour colmater le déficit d'eau dans les oasis, des puits profonds ont été creusés sur plus de 1000 m et offrant 500l/s dans l'Intercalaire Continental. L'exploitation de cette nappe fossile a progressé par la suite pour atteindre 1500l/s en 1985, 2300l/s en 1993 et près de 2500l/s aujourd'hui (Anonyme). La fraction de ressources renouvelables de cette nappe est très partielle. Elle offre des eaux chaudes (65°C en moyenne) et chargées en sel. Pour qu'elles soient accessibles par les palmiers, des cascades ont été construites qui assurent leur refroidissement. Ces cascades, appelées encore refroidisseurs, permettent de refroidir l'eau, mais elles engendrent des pertes énormes d'énergie et d'eau douce qui s'évapore dans l'atmosphère. D'après Said (1997), les pertes d'eau douce sont estimées à 10% et parallèlement, la salinité de cette eau augmente. Pour réduire ces pertes, on a lancé l'idée de faire circuler cette eau dans les serres pour les chauffer et assurer le refroidissement de l'eau.

Résumé

Les eaux géothermiques constituent une nouvelle source d'énergie pour le chauffage des cultures sous serre. Cette technique est utilisée dans plusieurs pays. La Tunisie occupe la troisième place avec 100 ha installés dans les zones oasiennes dans le sud du pays. Cette eau, puisée à partir de 1980 pour compléter l'irrigation des oasis, doit être refroidie. A cette fin, des cascades ont été construites, mais elles entraînent de grandes pertes d'énergie et d'eau de bonne qualité. La circulation de cette eau dans les serres permet d'assurer le chauffage et de refroidir en même temps l'eau.

Le secteur des serres chauffées s'est développé très rapidement. Il a permis de promouvoir la production, de créer des emplois et d'exporter sur les marchés européens en hiver.

Cet article présente une évaluation des cultures sous serres chauffées dans le Sud de la Tunisie. De plus, il décrit une technique locale de culture hors-sol mise au point pour contourner les problèmes de salinité et de maladies telluriques.

Abstract

Geothermal waters are a new energy source for the heating of greenhouses. This technique is also used in several countries. Tunisia ranks third in the world with 100 ha in the southern oases. Since 1980, several artesian wells have been drilled for the complementary irrigation of some oases in arid zones. Water used for irrigation is generally cooled by ventilated atmospheric cooling towers. As a consequence, a large amount of energy is lost and high quality water evaporates into the atmosphere.

The circulation of this water in the greenhouses enables to heat the greenhouse and to cool the water down. This agricultural activity has rapidly gained momentum. It provides the opportunity to produce vegetables in the winter for export and create jobs. This paper describes the development of greenhouses in the south of Tunisia and evaluates a local soil-less culture to tackle salinity and soil-borne diseases.

Ainsi, en plus de la production des dattes et grâce à l'exploitation des eaux géothermiques, le Sud tunisien s'est spécialisé également dans la production des tomates et de melon destinés à l'exportation.

A ce jour, deux grands types de projet aménagés sur une superficie totale de 100 ha se sont distingués : de petits projets impliquant une superficie couverte de 2000 à 6000 m² et une dizaine de grands projets de plus grande taille (entre 4 et 10ha).

La plupart des petites exploitations sont dans les mains des jeunes agriculteurs d'origine oasienne, alors que les grandes exploitations sont dirigées par des investisseurs faisant appel à

des techniciens spécialisés.

La conduite des cultures sous abris-serres chauffés nécessite une très haute technicité d'autant plus que les eaux géothermiques sont extrêmement riches en sels (la conductivité électrique varie de 2,5 à 4 mS/cm).

Dans le présent travail, on décrit brièvement les cultures protégées en Tunisie, en parcourant l'expérience des abris chauffés par les eaux géothermiques dans le Sud tunisien, les contraintes et la technique de conduite hors-sol utilisée pour contourner les problèmes rencontrés (salinité du sol et maladies telluriques) et on avance finalement des recommandations.

L'objectif est de promouvoir un secteur capable de répondre aux impératifs du développement économique et social des régions naturellement défavorisées.

Pour aborder ces questions, nous nous sommes basés sur une enquête d'évaluation socio-économique ayant impliqué 91 petits exploitants, le suivi et l'assistance tech-

* Institut des Régions Arides, 6051 Nahel, Tunisie

** Faculté des Sciences de Sfax

*** Président IRESA, Tunisie

nique de deux grandes exploitations au cours de plusieurs campagnes agricoles et les résultats de la recherche et du développement obtenus dans ce domaine durant 15 ans d'expérience.

2. Les cultures sous abris-serres en Tunisie

L'emphase a été mise sur deux pôles: des abris froids le long des côtes et des abris chauffés près des oasis.

En Tunisie, le développement des cultures sous abris-serres couverts par du plastique pour la production des légumes a suivi deux principales étapes.

Cette expérience a démarré en 1974 dans les régions côtières à hiver chaud : Sousse, Monastir, Mahdia , Nabeul et Sfax. Les superficies sont passées de 11ha à 1200 ha depuis 1984 jusqu'à présent (Anonyme). L'objectif fixé, à savoir produire des primeurs pour l'exportation, n'a jamais été atteint. D'ailleurs, ceci vaut pour la majorité des pays méditerranéens car la précocité et la qualité de la production exigées par les marchés extérieurs ne sont pas satisfaisantes si on n'a pas recours au chauffage des serres (Mougou,1987 ; Nisen1991).

En effet, les températures nocturnes en hiver durant les périodes favorables pour l'exportation sont insuffisantes (5 à 7°C). L'utilisation des meilleurs plastiques pour la couverture des serres n'élève la température nocturne que de 1 à 2 degrés. Avec les plastiques ordinaires (le polyéthylène qui est à la portée des producteurs), on peut assister même à une inversion de la température nocturne à l'intérieur des serres (Mougou,1987).

Les espèces maraîchères cultivées (melon et tomate) sont originaires des régions chaudes du globe. Elles sont très exigeantes en ce qui concerne la température : à titre indicatif, pour que la croissance, la fructification et la production soient optimales, les hybrides de tomate, les plus demandés sur les marchés internationaux, nécessitent une température nocturne de 15 à 17°C et une température diurne de 25 à 28 °C (Haddad,1995). Par conséquent, le chauffage des abris pendant la période froide s'impose, en particulier dans les zones où les amplitudes thermiques sont très prononcées, comme les régions oasiennes en Tunisie.

A cet égard, plusieurs travaux de recherche ont montré que le chauffage des serres avec les eaux géothermiques

permet d'obtenir une production très précoce (un mois d'avance par rapport aux zones côtières), soutenue (du 1er décembre jusqu'à la fin du mois de mai), des rendements plus élevés et une meilleure qualité (Mougou, 1987 ; Kouki ,1991 ; Haddad,1995 ; Majdoub,1997).

3. Potentiel exploitable et possibilités offertes par la géothermie

Il s'agit là d'une énergie gratuite, qui favorise la création d'emploi et une production de bonne qualité.

Le tableau 1 illustre les sources d'eau chaude exploitables en Tunisie (Verloot,1991) et concentrées essentiellement dans le Sud tunisien. Le recours à cette eau a permis l'irrigation des oasis qui constituent un patrimoine agronomique à préserver. Compte tenu de ce potentiel, il serait possible d'installer facilement 300 ha d'abris-serres chauffés.

Ce secteur peut jouer un rôle prépondérant dans le développement du Sud tunisien où les possibilités de diversification de la production agricole et de création d'emplois sont très rares.

En effet, le recours à la géothermie offre des possibilités intéressantes pour consolider la production sur le plan qualitatif et quantitatif, notamment la production très précoce, grâce à la disponibilité de la lumière (dans les zones arides, le ciel est tout le temps dégagé) et à cette technique de chauffage. Par conséquent, il est possible de produire des melons et des tomates pendant les mois de décembre, janvier et février, période la plus froide de l'année. Cette activité se caractérise par :

- Un coût d'opportunité des ressources en eau et sol assez faible. Elle permet de valoriser des ressources énergétiques très importantes qui seraient autrement perdues, étant bien entendu que l'eau doit être refroidie avant son utilisation dans les palmeraies.

- Un bilan en devise au niveau macro-économique nettement positif. Des études estiment qu'il est de l'ordre de 70.000DT/ha/an pour une exploitation conduite d'une manière rationnelle (Sghair et al. 1991).

- Un taux de rentabilité très prometteur. D'après les estimations de la Banque Nationale Agricole (BNA), il s'élève à 28%.

- Une très forte aptitude à la création d'emploi. La conduite des 100 ha, actuellement en production, est assurée par : 700 emplois permanents et 120.000 jours de travail/an répartis sur les périodes d'installation et de désinfection des serres, les récoltes et le conditionnement des produits exportables.

Théoriquement, ce secteur offre un important potentiel d'exportation. En effet, plus de 85% des tomates produites sont d'une qualité très demandée par les marchés de l'exportation (Mougou,1987 ;Haddad,1995 ;Haddad et Mougou 1996).

Tab.1 *Potentialités hydrauliques exploitables*

Régions	Température (°C)	Potentialité d'eau chaude (l/s)	Ressources en eau mobilisées (l/s)	Potentiel exploitable (ha)
Gabès	30-75	1682	1682	100
Kebili		1100	960	105
Tozeur		635	357	100
Sidi Bouzid	20-40	697	697	38
Autre		736	703	35
Total		4850	4399	378

Cependant, les problèmes techniques survenus au cours de la réalisation de cette expérience, surtout chez les petits exploitants, incitent à approfondir les réflexions pour décider de l'opportunité d'élargir ce secteur, d'autant plus que les prochains plans de développement prévoient de tripler les superficies.

4. Evaluation de cette expérience

Il a été constaté un manque à gagner au niveau de la maîtrise des techniques, la nécessité d'améliorer la conception et un bas niveau de rentabilité des petites exploitations.

4.1 Rendement et orientation des projets

Les emblavures sont passées de 2 ha en 1985 à 75 ha en 1996, pour se stabiliser à 103 ha à présent (tableau 2). En dépit de certaines contraintes liées au manque de qualification des petits agriculteurs et à l'apparition des problèmes phytosanitaires (nématodes, flétrissement, virus transmis par les insectes...), la production totale a enregistré un accroissement quantitatif très net proportionnellement aux superficies exploitées. Elle est passée de 250 tonnes en 1986 à 7500 tonnes actuellement, avec des rendements moyens compris entre 75 et 82 tonnes / ha.

Dans les petites exploitations, malgré les atouts qu'offre le chauffage, les rendements moyens sont plus faibles. Pour la tomate, le rendement s'élève à 61 tonnes/ha, pour le melon il est de 25 tonnes/ha et pour le piment, la pastèque et le concombre qui sont écoulés localement, ils sont respectivement de 25, 30 et 27 tonnes/ha en moyenne. Ces rendements ont une influence directe sur la rentabilité. Dans ces petits projets, on remarque une mauvaise adhérence aux objectifs initiaux qui prévoyait l'obtention de produits destinés à l'exportation. En réalité, la quasi-totalité de la production issue de ces petits projets est commercialisée sur les marchés locaux. 58 % des exploitants tracent des schémas de production des

légumes qui coïncident avec le mois saint du "Ramadan", période pendant laquelle la demande, notamment en légumes frais, s'accroît considérablement vu leurs qualités rafraîchissantes.

Un deuxième niveau de discordance est constaté au niveau de la conception des projets. Les projets ont été conçus pour promouvoir un secteur spécialisé dans la production des primeurs destinées au marché extérieur. Par contre, les petits exploitants s'attachent en réalité à un objectif de sécurité. Ils ont diversifié le système de production en introduisant des plantations de palmiers "Deglet Nours", des arbres fruitiers (figuiers et grenadiers) et des cultures maraîchères et fourragères. Chez les exploitants impliqués dans notre enquête, le palmier dattier et les arbres fruitiers sont cultivés dans 45 à 85% des cas, alors que les cultures de plein champ sont présentes dans 60 à 95% des cas. Ce retour à l'instauration instinctive du système oasien complique l'objectif de départ qui prévoyait le refroidissement de l'eau pour l'irrigation des oasis déjà existantes. Ce système de culture a donc créé de nouveaux besoins en eau, ce qui va compliquer davantage la gestion de ce facteur de production.

Dans les grandes exploitations, l'accès à l'information est très délicat car les agriculteurs aiment garder la confidentialité des résultats réalisés. Toutefois, nos estimations et nos observations permettent d'affirmer que les rendements sont assez élevés. Ils varient respectivement de 115 à 130 kg et de 40 à 45 kg / ha pour la tomate et le melon, respectivement. Ces grands projets sont en perpétuelle évolution sur le plan de la superficie et des techniques de production (méthodes modernes de pilotage informatisé de l'irrigation, de fertilisation et de gestion des stocks, culture hors-sol, introduction de nouveaux hybrides de tomate, des insectes pollinisateurs), ce qui explique le succès obtenu.

Le tableau 2 récapitule l'évolution des superficies et des quantités produites et exportées en utilisant les serres chauffées et irriguées par les eaux géothermiques.

Le tableau 2 indique que les superficies évoluent à un rythme très lent et que la production moyenne est très intéressante par rapport à la production moyenne sous abris froids (57 tonnes/ha). Celle-ci reste en dessous des potentialités réelles. Les quantités exportées, malgré la légère progression, restent inférieures aux performances et aux objectifs fixés au départ.

4.2 Maîtrise des techniques

Les observations sur le terrain ont montré que les exploitants, en général, commencent à acquérir un niveau de maîtrise acceptable des techniques de préparation du sol, des opérations de pépinière, de la

Années	Superficie (ha)	Production (Tonnes)	Production moyenne (tonnes/ha)	Exportation (tonnes)	% d'exportation
1991/92	64.8	5300	81.79	1150	21.69
1992/93	69.5	5370	77.26	1450	27.35
1993/94	70	5600	80	1200	21.43
1994/95	73	6000	82.19	1100	18.33
1995/96	75	6200	82.66	1000	16.13
1996/97	77	6250	81.16	1300	20.63
1997/98	82	6550	79.8	1500	22.90
1998/99	87	6700	77	1700	25.37
1999/2000	91	7000	67.9	1500	21.43
2000/2001	100	7500	75	2500	33.33
2001/2002	103	-	-	2700	-

fertilisation et de l'irrigation des cultures protégées.

Cependant, les petits exploitants doivent encore déployer leurs efforts pour maîtriser les techniques de pilotage du chauffage, le choix des variétés et les traitements chimiques.

A cet égard, notre enquête a révélé que dans 33% des cas, le chauffage des serres est prolongé pendant le jour, élevant ainsi la température à des niveaux intolérables pour les plantes. Dans 65% des cas, l'apport des oligo-éléments et des fertilisants n'est pas régulièrement maîtrisé. Ceci influence négativement la production sur le plan qualitatif et quantitatif. Dans certains cas, on a constaté que les quantités de semences hybrides utilisées dépassent de 400% les besoins estimés techniquement. Il s'ensuit donc une perte de devise car les hybrides sont importés. Dans quelques cas, l'utilisation des produits chimiques pour les traitements des maladies reste anarchique sans se soucier des intérêts des consommateurs.

4.3 Aménagement des périmètres

Dans certains sites, face à des problèmes évidents, il a été possible de montrer que ces projets n'ont pas été conçus dûment à bien des égards :

- Pour le choix des emplacements, certains projets sont installés sur des sols halomorphes, avec la remontée de la nappe et des problèmes d'asphyxie. Parfois, la topographie est défavorable pour évacuer les eaux de drainage.

- Il y a un décalage entre l'installation des projets et leur protection contre les vents. Dans le Sud tunisien, les vents sont très fréquents (les vents de sable printaniers coïncident avec la pleine production). De sérieux dégâts mécaniques ont été observés (déchirure des plastiques de couverture des serres, dislocation des structures des serres et détérioration de la production). Il y a lieu de renforcer les structures des serres et de protéger les périmètres par des brise-vent efficaces.

- Certains projets sont difficilement accessibles à cause de l'aménagement insuffisant de la piste.

- L'intégration des petits exploitants dans le système oasien mène à un conflit d'intérêt pour l'usage de l'eau.

- On accuse une insuffisance des structures, les circuits d'écoulement et d'approvisionnement étant encore très fragiles et mal structurés. Les exploitants ne sont pas organisés du point de vue socio-professionnel. Chez les pe-

tits exploitants suivis, plus de la moitié de la production est écoulee sur place. Chaque grande exploitation a sa propre marque, "label", pour les marchés de l'exportation. Ce qui engendre une dispersion des efforts et met ce secteur entre les mains des spéculateurs.

4.4 Niveau de rentabilité

Ce paragraphe s'intéresse aux petites exploitations. Les grandes exploitations gardent une confidentialité totale sur leur rentabilité mais, indubitablement, elles investissent davantage dans ces projets, générant ainsi une rentabilité acceptable.

Les niveaux des rendements déclarés et estimés lors de nos observations chez les petits exploitants restent faibles. Ces rendements physiques ont une influence directe sur la rentabilité de l'exploitation.

Produit brut des petites exploitations (PBE)

Les petites exploitations génèrent des résultats financiers intéressants, mais restent loin des performances théoriquement établies au départ. Pour le PBE de l'échantillon suivi, cinq classes ont été distinguées (tableau 3).

Le tableau 3 permet de constater que le PBE moyen est de 2733 DT ; environ la moitié de la population enquêtée a enregistré un PBE inférieur à la moyenne. Si l'on prélève la rémunération de la main d'œuvre familiale, qui était présente dans 37% des cas, ce taux régresse davantage.

4.5 Encadrement du secteur

En plus des facteurs de production, la réussite de ce secteur est tributaire du mode de conduite des cultures et de la gestion pratiquée par l'exploitant durant toute la saison culturale. A ce sujet, plus de 55% des petits exploitants impliqués dans notre enquête ont déclaré qu'ils reçoivent une fois tous les 15 jours le responsable de la vulgarisation et qu'ils n'assistent jamais à des séances d'encadrement. Etant amplement conscients du rôle que devrait jouer l'encadrement technique, les exploitants sont dans 75% des cas favorables à l'affectation d'un bon vulgarisateur pour un groupe de 20 exploitants afin d'assurer le contrôle d'une superficie de 2 ha au maximum.

Dans les deux grandes exploitations suivies, les opérations techniques sont confiées à des ingénieurs et des techniciens spécialisés.

L'apport de la recherche et du développement dans ce domaine est très significatif, plusieurs travaux ont été effectués et ont touché les aspects horticoles, phytotechniques, phytosanitaires et la mise au point d'une technique locale de conduite hors-sol. Ces résultats sont malheureusement très peu valorisés et ils doivent être simplifiés et mis à la disposition des techniciens et des agriculteurs. Un point de détail mais très révélateur consiste à favoriser la participation de la profession au choix des thèmes à aborder. A titre d'exemple, la technique hors-sol, mise au point pour résoudre les problèmes des sels, a été appliquée dans la station expérimentale et financée en partie par une grande exploita-

Tab. 3 Distribution des Produits Bruts des Petites Exploitations (PBE)

Nombre d'individus	classe	PBE (DT*)	Pourcentage
14	1	< 2000	15
27	2	2000 à 2500	30
23	3	2500 à 3000	25
18	4	3000 à 3500	20
9	5	>3500	10
Total = 91	5 classes	PBE moyen = 2733 DT	100

tion qui, étant convaincue par les résultats, a adopté rapidement cette technique (15 ha).

4.6 Affectation des revenus

Les deux grandes exploitations suivies ont augmenté considérablement les superficies chauffées. A ce titre, l'une d'entre elles a multiplié la surface couverte par cinq. Par contre, pour les petites exploitations, le revenu réinjecté dans l'activité des serres est de 37% seulement, ce qui se traduit par une évolution moins lente de ce système. Dans 58% des cas, une part importante (14 à 25% du revenu) est affectée à la construction de foyers familiaux.

5. Les principales difficultés

Des inconvénients d'ordre structurel et des problèmes techniques ont été rencontrés.

En dépit de la bonne qualité obtenue, le secteur doit faire face à diverses difficultés en ce qui concerne l'écoulement et l'exportation de la production. Les quantités exportées sont en deçà des aspirations. Plus des trois quarts de la production sont écoulés sur le marché national car les prix sont très encourageants. Par conséquent, les différents producteurs devraient s'unir pour créer un organisme qui défende leurs intérêts communs.

Deux problèmes techniques se posent qui méritent d'être approfondis par la recherche : l'un d'ordre phytosanitaire et l'autre relatif à la concentration des sels dans le sol. Ces deux handicaps affectent négativement la production et ont constitué deux véritables freins pour l'évolution du secteur.

* Les maladies du sol

Les nématodes des serres (*Meloidogynes*) constituent le problème majeur et sont l'un des facteurs qui affectent considérablement le rendement des cultures. Compte tenu des conséquences observées sur les cultures, on peut affirmer que les méthodes chimiques et physiques ne se sont pas montrées complètement efficaces (Ben Amor, 1999)

* La salinité des sols

Les eaux géothermiques, riches notamment en sodium, chlorures, sulfates et bicarbonates et utilisées pour l'irrigation dans des conditions de température et de lumière sub-optimales ont augmenté la salinité du sol (Verloot, 1991). La situation s'est aggravée à cause de la prolifération des organismes telluriques (surtout les nématodes). Ainsi, une chute irréversible de la production a été enregistrée chez plusieurs producteurs (Ben Amor, 1999).

Pour résoudre ce problème, certaines stratégies ont été mises en oeuvre, telles que le déplacement des serres, l'apport de terre vierge, la désinfection chimique et la désalinisation. Toutefois, ces mesures se sont montrées très onéreuses et à efficacité relative.

L'idée d'utiliser les cultures hors-sol sur le sable de carrière, pour s'affranchir des sols médiocres et contaminés, a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche qui ont montré que cette technique peut être une alternative in-

téressante (Kouki, 1991 ; Haddad, 1995 ; Majdoub, 1997). De fait, ce système a été rapidement adopté par les grandes exploitations sur une superficie de 30,95 ha et il a permis de surmonter les problèmes de salinité et de contrôler les nématodes plus efficacement. Les matériaux disponibles sur place ont toujours été utilisés (Haddad et Mougou, 1996).

Vu l'importance de cette technique, mise au point pour le Sud tunisien et qui a permis de revivifier ce secteur, il est intéressant de décrire ses composantes et ses performances.

6. Les composantes de la technique de culture hors-sol

Une culture hors-sol non polluante, basée sur les matériaux disponibles sur place, permet de contourner les difficultés techniques.

Les contraintes régionales (conditions climatiques, qualité de l'eau, possibilité d'approvisionnement en substrat etc.) influent grandement sur le niveau des performances des systèmes de culture hors-sol et dans bien de cas, elles empêchent la simple transposition d'une technologie d'une région à l'autre (Blanc, 1987). C'est la raison pour laquelle le système de culture hors-sol mis au point pour le Sud tunisien a été basé sur l'utilisation des matériaux disponibles localement.

6.1 Le substrat

A proximité des palmeraies, les sables de carrière sont disponibles en grande quantité. Les expériences pionnières dans ce secteur ont révélé que les sables sont parmi les substrats les plus indiqués vu leur inertie chimique élevée et leur grande durabilité (Blanc, 1987 ; Laurent, 1997).

6.2 Les conteneurs

Les premiers conteneurs utilisés ont été des fosses creusées longitudinalement tout au long des serres suivant une légère pente, tapissées par une bâche en plastic (récupérée des matériaux employés pour la couverture des serres) pour les isoler du sol. Le drainage des eaux en excès est assuré par des tuyaux en polypropylène perforés au préalable sur les côtés et placés au fond des fosses. Ces tuyaux sont également récupérés de ceux utilisés pour le chauffage. Il est à remarquer que les bâches en plastic s'usent rapidement sous l'influence du climat désertique (durée de vie de deux ans). Ces bâches usées peuvent constituer une véritable source de pollution. Pour ces premiers contenants, le creusage des tranchées, la mise en place du sable et son évacuation engendrent des frais d'installation assez élevés (Haddad et Mougou, 1996). Pour parfaire cette technique, les tranchées sont substituées par de nouveaux conteneurs représentés par des sacs en plastic tissés et/ou des bacs de culture, placés à même le sol. Ces conteneurs peuvent être facilement évacués. Ils peuvent donc constituer un moyen très efficace pour éviter

les nématodes. En effet, si on repère un premier foyer de nématodes, on peut rapidement évacuer les sacs des cultures ou les bacs infectés (Blanc, 1987 ; Laurent, 1997). De plus, en fin de campagne, ces conteneurs peuvent être facilement désinfectés et stockés.

6.3 Performances de la technique de culture hors-sol

Pour la mise au point de ce système local de culture hors-sol, nos travaux de recherche ont été effectués pendant plusieurs campagnes sur la culture de tomate. Les résultats ont permis de mettre en évidence des améliorations significatives de la croissance, de la fructification, de la précocité, des rendements et de la qualité. En plus, les stress salins et les maladies du sol ont pu être évités.

Pour la tomate, la croissance végétative et générative s'est avérée plus rapide et plus vigoureuse par rapport à la technique classique (Haddad et Mougou, 1996). Ainsi, les normes de fertilisation ont été révisées pour économiser jusqu'à 20% les apports d'azote et de potassium qui sont les engrais les plus chers (Haddad et Mougou, 1996).

Ce système est ouvert et de ce fait, il permet de récupérer les eaux de drainage. Cette eau riche en fertilisants, au lieu de regagner la nappe, est récupérée pour assurer l'irrigation de certaines cultures fourragères (orge en vert et luzerne). Par conséquent, cette technique permet de réaliser des économies d'eau et d'engrais très significatives. Elle est recommandée pour les zones arides où l'eau est un facteur limitant de la production.

En outre, la récupération des plastiques de couverture usés et des divers tuyaux endommagés, ainsi que l'emploi du sable comme substrat pour la confection de ces cultures hors-sol, contribuent à préserver l'environnement.

Par ailleurs, la conduite des espèces cultivées hors-sol améliore la qualité de la production qui est le facteur le plus réclamé par les marchés. Le tableau 4 compare la qualité des tomates produites hors-sol et de celles obtenues par la technique normale pendant les mois de mars, avril et mai (période propice pour l'exportation).

Ce tableau permet de constater que :

* Pour les deux modes de conduite, les fruits sont suffisamment acides et riches en sucre. Ce qui confirme une fois de plus que les eaux chargées améliorent considérablement le goût des fruits chez la tomate, ce constat étant en accord avec les travaux de Janse (1991).

* Pendant les trois mois, les fruits issus de la serre plantée en hors-sol sont plus acides et plus riches en sucres ré-

ducteurs, deux facteurs essentiels pour les tomates de qualité.

7. Recommandations et conclusions

L'exploitation des eaux chaudes pour le chauffage des serres a entraîné une nouvelle dynamique socio-économique dans des zones où la réussite des projets de développement n'est pas toujours évidente. Pour la réalisation des 200 ha projetés dans les meilleures conditions, il est nécessaire de tenir compte des considérations suivantes:

7.1 Révision de l'objectif

Afin de générer un secteur capable de répondre aux impératifs du développement économique et social et de gagner le pari de l'exportation, l'objectif suivant pourrait être envisagé : des projets qui soient rentables économiquement et acceptables socialement. Ceci nécessite une intégration des exploitants pour cerner la taille optimale des exploitations qui doivent être en harmonie avec le système productif oasien. Pour cela, il faut tenter d'intégrer les projets des serres chauffées dans un schéma d'aménagement global qui évite toute perte d'eau et les conflits liés à son utilisation. Ce travail a confirmé que les petits exploitants aimeraient réaliser des projets plus intégrés qui combinent les cultures sous serres, les cultures oasiennes et l'élevage. Ceci suppose une attention particulière à l'emplacement des projets, à l'aménagement des périmètres et au choix des acteurs potentiellement capables de maîtriser les nouvelles techniques de production.

7.2 Mesures techniques

Pour réhabiliter le secteur des serres chauffées dans le Sud tunisien, des considérations relatives à l'amélioration des choix et des techniques de production peuvent être avancées :

- il est nécessaire de réviser et renforcer des schémas de protection des périmètres contre les vents au mois cinq ans avant l'installation des périmètres irrigués, tout en prévoyant d'aménager des pistes pour que ces projets soient facilement accessibles ;

- les exploitants devraient être encouragés à adopter des schémas culturels plus performants et plus cohérents avec les objectifs d'exportation. Ceci demande un effort de formation professionnelle des exploitants avant de les engager dans ce système qui demande une grande spécialisation. Des thèmes relatifs aux techniques de pilotage du chauffage et de l'irrigation, aux méthodes de semis, au choix de variétés et surtout à l'utilisation des pesticides sont fondamentaux.

7.3 Encadrement et vulgarisation

Des programmes de vulgarisation spécifiques doivent être mis au point pour suivre les opérations techniques pendant toute la

Tab. 4 Comparaison de la qualité de la tomate hybride (Elena) produite en hors-sol (HS) et par la technique normale (TN)

Période de récolte	Mars		Avril		Mai	
	HS	TN	HS	TN	HS	TN
Paramètres observés						
Teneur en acides (g d'acides pour 100 g)	7,8	7,2	7,3	6,8	7,1	5,8
Sucres réducteurs (% du poids frais)	6,3	5,2	6	4,8	5,7	4,5

campagne agricole. Par conséquent, on devrait limiter le nombre d'exploitants par vulgarisateur et les vulgarisateurs devraient avoir une formation adéquate et posséder des moyens logistiques.

En outre, l'encouragement de la recherche appliquée dans ce domaine ne peut être que bénéfique à condition que les vulgarisateurs et les exploitants soient impliqués dans les résultats de ces recherches par une approche participative.

De plus, pour éviter les différents types de spéculateurs, les agriculteurs devraient s'organiser dans des associations professionnelles (les coopératives de service, les sociétés de commercialisation...) qui joueraient un rôle prépondérant en amont et en aval de l'approvisionnement et de la commercialisation. De telles entreprises développent l'esprit collectif chez les exploitants et les aident à s'organiser et à préserver leurs intérêts.

Grâce au potentiel géothermique, les cultures de primeurs ont pu être relancées en Tunisie. Ainsi, le chauffage des serres a permis d'améliorer la production sur le plan quantitatif et qualitatif et a créé de nouvelles possibilités d'exportation. La production qui en découle assure la couverture des besoins du marché local en période creuse et elle est vendue à des prix très intéressants.

Ce secteur agricole connaît quelques difficultés inhérentes essentiellement à la concentration des sels dans le sol, aux problèmes phytosanitaires et au manque d'association professionnelle.

Pour remédier à ces inconvénients, on pourrait avoir recours aux cultures hors-sol. De plus, l'organisation professionnelle du secteur constitue un préalable pour atteindre les objectifs prévus.

En définitive, ce modèle de développement mérite d'être présenté et il pourrait servir d'exemple pour d'autres régions qui se trouvent dans des conditions similaires.

References

Anonyme (2000-2001). Statistiques du Ministère de l'Agriculture tunisien.

Ben Amor B.(1999). Etude des facteurs influençant la production et la qualité des tomates cultivées sous serres chaudes par

les eaux géothermiques. INAT : Projet de fin d'études cycle ingénieur spécialisé ;56 p.

Blanc D.(1987). Les cultures hors-sol. Edition INRA,1987 ;407p.

Haddad M.(1995). Effet de deux régimes de température nocturne sur la croissance, la production et la qualité de neuf hybrides de tomate. Faculté des Sciences : DEA de physiologie végétale; 85 p.

Haddad M et Mougou A.(1996). Contribution à la mise au point de la technique de culture de tomate hors-sol sous serres chauffées par les eaux géothermiques. Revue des Régions Arides, Numéro spécial, 201-203 p.

Janse, J.(1991). Effects of growing temperature and EC on flower, other quality characteristics and yield of tomato. Annual report MG. Glasshouse Crops Research Station.

Kouki K.(1991). Influence du substrat de culture et de la fertilisation sur l'amélioration de la qualité de la tomate de primeur. INAT :Thèse de 3ème Cycle ,162 p.

Laurent U.(1997). L'irrigation fertilisante en culture hors-sol. Edition Lavoisier, 203p

Majdoub O.(1997). Influence du substrat de culture et de la fertilisation sur l'amélioration de la qualité de la tomate conduite en hors-sol. INAT :Thèse de 3ème Cycle ,153 p.

Mougou A.(1987). Geothermal heating of greenhouses in South-Tunisia. Proposals for a simple control ; Plasticulture,75, 41-50

Munier P. (1971). Le palmier dattier. Collections techniques agricoles et productions tropicales. Edition Maisonneuve et Larose; 220p.

Nisen A. (1991) Protected Cultivation in the Mediterranean Climate. Faculté des Sciences agronomiques de l'Etat Gembloux : Document technique.

Popovski K.(1993) Heating greenhouses with geothermal energy. International Summer School, Skopje, Macedonia, 326p.

Said M.(1997). Geothermal utilization for heating, irrigation and soil disinfection in greenhouses in Tunisia. The United Nations University; 311-338.

Sgair M. ; Hlal, K. ; Haddad, M. ; Fakhfak,F. (1991) Evaluation technique et socio-économique de l'expérience serricole dans le Gouvernorat de Kebili. Etude ; Ministère de la planification et du développement régional ;65 p ;

Toutain G. (1979). Eléments d'agronomie saharienne. Imprimerie Jouve;276 p.

Verlodt H(1991). La fertilisation et l'irrigation des cultures sous serres chauffées par les eaux géothermales. Document technique DGPA, PNUD, Ministère de l'Agriculture.