



MICROFICHE N°

09607

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية  
وزارة الزراعة

المركز القومي  
للتوثيق الفلاحي  
تونس

F 1

ES 293

REPUBLIQUE TUNISIENNE  
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
DIRECTION DES SOLS



**guide méthodologique  
pour le choix, le suivi et le contrôle des  
périmètres irrigués par les eaux géothermales  
dans le Sud tunisien**

**H. Ben Hassine, F. Bouksila, A. Mtimet  
et la collaboration de techniciens régionaux**

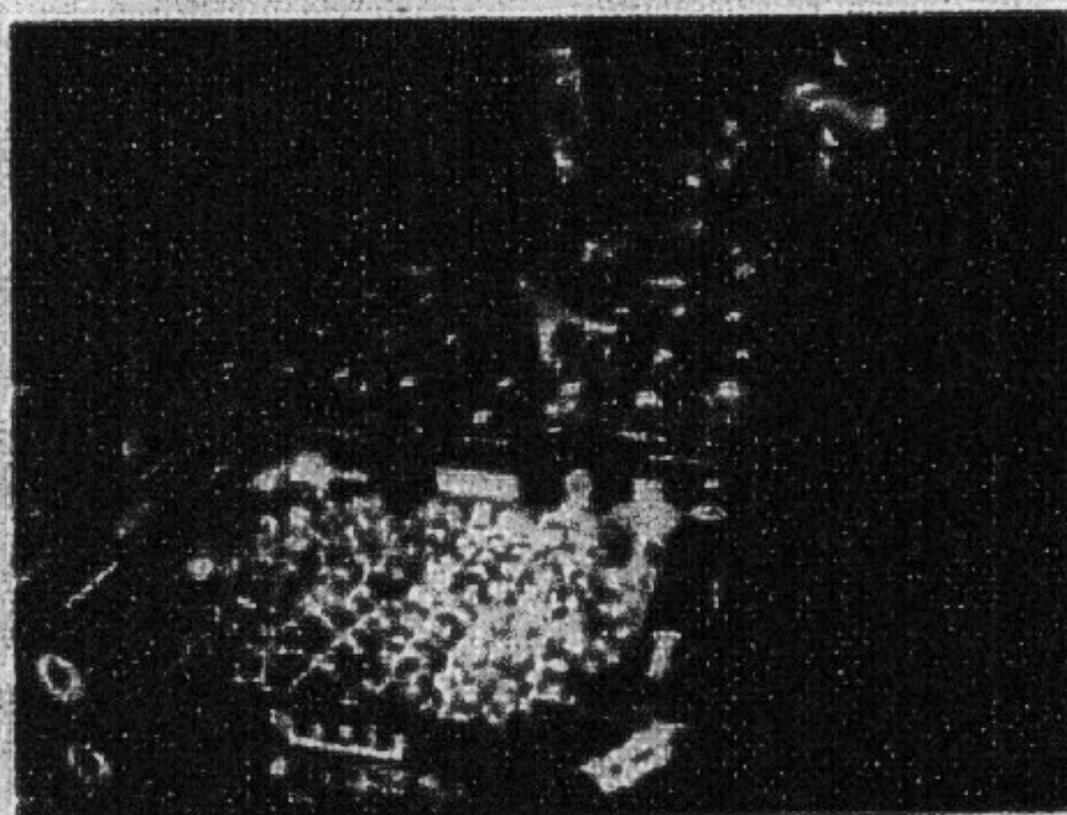
REPUBLIQUE TUNISIENNE  
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
DIRECTION DES SOLS



**GUIDE METHODOLOGIQUE  
POUR LE CHOIX, LE SUIVI ET LE CONTROLE  
DES PERIMETRES IRRIGUES PAR LES EAUX  
GEOTHERMALES DANS LE SUD TUNISIEN**

(2ème version)

**Ben Hassine. H, Boukalla. F, Mtimet. A.**  
et la collaboration de techniciens régionaux



Novembre 1996

## SOMMAIRE

	Page
<b>INTRODUCTION</b> .....	2
<b>I. LES DIFFICULTES ET LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT DU SECTEUR DE LA GEOTHERMIE</b> .....	3
1.1. Les contraintes du milieu naturel.....	3
1.2. Les contraintes d'ordre technique.....	3
<b>2. ETAPES A SUIVRE POUR LA CREATION ET L'INSTALLATION D'UN PERIMETRE IRRIGUE AUX EAUX GEOTHERMALES</b> .....	4
2.1. Etude du milieu d'exécution du projet.....	4
2.2. Etapes de l'installation du projet.....	4
2.2.1 Mesures communes.....	4
2.2.2 Serri-culture sur sol en place.....	7
2.2.3 Serri-culture sous abris couvrant des surfaces importantes et sur des substrats allochtones.....	7
<b>3. METHODOLOGIE DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE</b> .....	9
3.1. Les propriétés physico-chimiques des sols.....	9
3.1.1. Paramètres de contrôle et fréquences des prélèvements.....	9
3.1.2. Surveillance et maîtrise de la salinité des sols.....	9
3.2. La ferti-irrigation.....	10
3.2.1 Paramètres de contrôle et fréquences des prélèvements.....	10
3.2.2. Surveillance et maîtrise de la ferti-irrigation.....	10
3.3. Le drainage.....	11
3.4. Les nématodes et les mesures phyto-sanitaires.....	12
3.5. Entretien du réseau d'irrigation.....	12
3.6. Estimation du coût d'une opération de suivi.....	12
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	15
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	16
<b>ANNEXES</b> .....	18

## SOMMAIRE

	Page
<b>INTRODUCTION</b> .....	2
<b>I. LES DIFFICULTES ET LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT DU SECTEUR DE LA GEOTHERMIE</b> .....	3
1.1. Les contraintes du milieu naturel.....	3
1.2. Les contraintes d'ordre technique.....	3
<b>2. ETAPES A SUIVRE POUR LA CREATION ET L'INSTALLATION D'UN PERIMETRE IRRIGUE AUX EAUX GEOTHERMALES</b> .....	4
2.1. Etude du milieu d'exécution du projet.....	4
2.2. Etapes de l'installation du projet.....	4
2.2.1 Mesures communes.....	4
2.2.2 Serri-culture sur sol en place.....	7
2.2.3. Serri-culture sous abris couvrant des surfaces importantes et sur des substrats allochtones.....	7
<b>3. METHODOLOGIE DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE</b> .....	9
3.1. Les propriétés physico-chimiques des sols.....	9
3.1.1. Paramètres de contrôle et fréquences des prélèvements.....	9
3.1.2. Surveillance et maîtrise de la salinité des sols.....	9
3.2. La ferti-irrigation.....	10
3.2.1 Paramètres de contrôle et fréquences des prélèvements.....	10
3.2.2. Surveillance et maîtrise de la ferti-irrigation.....	10
3.3. Le drainage.....	11
3.4. Les nématodes et les mesures phyto-sanitaires.....	12
3.5. Entretien du réseau d'irrigation.....	12
3.6. Estimation du coût d'une opération de suivi.....	12
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	15
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	16
<b>ANNEXES</b> .....	18

## ملخص

يتناول هذا الدليل في نسخته الثانية دراسة إشكاليات اوضاع الاتربة المستغلة بالزراعات العمية والمروية بالمياه السخنة في ولايات الجنوب فلبس، قبلى وتوزر. وهي تدخل في إطار دراسات الاراضى المتأثرة بالملوحة والتفتق لوضع برنامج منهجى يغطى كل المعطيات (الفيزيائية والزراعية)، وقد شهدت في السنين الاخيرة (العشرية الاخيرة) تطورا من ناحية المساحات إذ فاقت 70 هكتار بهستغلال مكثف يعتمد على إنتاج الباكورات : حضروات، قرعيات بطرق تقليدية وكذلك بطرق اخرى عصرية ذات استثمارات كبيرة (استعمال انماط زراعية واسمدة واجهزة رى حديثة، وتداول زراعى واستعمال العسوب فى إدارة البيوت المكيفة، كذلك الاتربة المستوردة من اماكن اخرى...) ومن ناحية الموارد المائية الجوفية العارة فبنتها توجد بنسبة 70% بالولايات الثلاثة يمكن بواسطتها إحداث مناطق سقوية تغطى 370 هك، وسيتمكن إحداث 300 هك جديدة من البيوت العمية من إنتاج 48 ألف طن من الباكورات فى افق سنة 2000 منها 30 ألف طن قابلة للتصدير.

وبالرغم من تظافر جهود المستثمرين والتشجيعات المادية التى اولتها الدولة فى الفترة الاخيرة فإن بعض النقائص والعوائق أصابت الإنتاج (كمآ وكيفيا) ومن بينها ما يهّم التربة. إذ تحتاج الاراضى الى منهجيات نوعية لاستصلاحها وإدارتها للمحافظة على إنتاجيتها على المدى الطويل، والطرق التى يرجع إتباعها من أجل إستصلاحها بصورة ناجحة (إزالة الاملاح الذاتية فى المنطقة البذرية عن طريق الغسل)

ويركز هذا التقرير على ثلاث فصول مهمة منها الإستنتاجات العلمية الاخيرة اعتمادا على الأعمال السابقة من طرف بعض الفتيين والباحثين ثم فى مرحلة ثانية طريقة العمل المزمع إنجازها وفى مرحلة ثالثة وضع المنهجية المقترحة للخطوة فى المراقبة المستمرة والمنابعة الميدانية المدعومة بالتحليل المخبري (مياه وتربة) وقد أولينا لهذا الفصل كل العناية والإهتمام فى عدم الإفراط فى مياه الرى المفضنة وتجنب مشكلات الصرف لسرعة نفاذ المياه بسبب عدم الثبات فى بناء التربة إذ يظلب عليها التسيج الرملى او بسبب قلة إنحدار الأرض وهذا ينتج عنه صعوبة فى التهوية وسرعة تملح التربة وبذلك إصابة المعاصيل بالأمراض ونقص فى الإنتاج العام وتدهور الاتربة عسوما نتيجة تفاوت خصائص التربة من مكان إلى مكان ومستوى القدرة على إدارة العتبية والمستلزمات الإقتصادية تؤدى حتما إلى نشوء إختلافات فى الطرق المستخدمة.

ويمكن التوسع فى زراعة مساحات جديدة فى هذه المناطق الجافة ذات المياه الجوفية العارة إذا أختبرت لها الاماكن العسنة ونوقرت لها اساليب رى جيدة مع العذر من ظهور الملوحة والتفتق وعدم الإصابة بها وكذلك مراقبة العفريات والأمراض الأخرى.

## INTRODUCTION

Suite à l'apparition de difficultés et de problèmes d'ordre technique influençant, d'une façon négative, la production dans le domaine des cultures protégées, irriguées par les eaux géothermales, une décision ministérielle a été prise pour venir en aide à ce secteur et contribuer à son encadrement dans un objectif général de maintien de la production et de son éventuelle amélioration. Ce secteur destiné en partie à l'exportation et ayant absorbé des investissements importants mérite, en effet, une attention particulière et un suivi régulier permettant sa sauvegarde et la pérennité de sa production.

C'est dans ce cadre que la Direction des sols, a entrepris une enquête et un diagnostic approfondis du milieu naturel dans lequel a été implantée cette activité, en l'occurrence les périphéries de Chott El Jerid et de Chott El Fejej où les eaux géothermales ont été captées par forages et orientées vers la production dans ce secteur. La superficie totale des périmètres irrigués avec les eaux géothermales est d'environ 74 ha dont 72 ha se situent au sud tunisien, dans les gouvernorats de Tozeur, Kébili et Gbès.

L'actuelle étude se donne pour objectif d'établir un document méthodologique pour le choix, l'installation, le suivi et le contrôle des sols des périmètres irrigués avec les eaux géothermales. Ce document sera utile, pour les utilisateurs des eaux chaudes en cultures protégées et les promoteurs ayant investi dans ce domaine, afin qu'ils s'assurent de la pérennité et la rentabilité de leurs projets.

Les conclusions et les recommandations proposés dans ce document sont le fruit d'une étude basée sur, un diagnostic de la situation actuelle, des analyses de laboratoire et des résultats de travaux de recherches, élaborés par les experts du projet de coopération tuniso-belge PUGA sur l'utilisation des eaux géothermales en agriculture.

La démarche adoptée dans ce travail a été définie en étapes successives:

- En première étape: Détermination des difficultés et des contraintes de développement du secteur de la géothermie.
- En deuxième étape: Définition des critères de choix des sols aptes à l'irrigation avec les eaux chaudes.
- En troisième étape: Définition des étapes et les précautions à prendre dans l'installation d'un périmètre.
- En quatrième étape: Mise au point d'une méthodologie de suivi et de contrôle des périmètres irrigués avec les eaux géothermales.

## **1. LES DIFFICULTES ET LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT DU SECTEUR DE LA GEOTHERMIE**

La productivité dans le secteur de la géothermie ne suit pas une courbe ascendante et les rendements sont fluctuants et n'atteignent l'optimum que dans de rares cas. Des difficultés et des contraintes freinant la prospérité de la production sont à l'origine de ces faibles rendements. Sur la base d'une enquête et des résultats d'analyses physico-chimiques des sols, élaborés par la Direction des Sols. Les contraintes du secteur peuvent être réparties sur deux origines essentielles, à savoir des contraintes du milieu naturel et celles d'ordre technique (Tableau I).

### **1.1. LES CONTRAINTES DU MILIEU NATUREL**

- **Situation des périmètres:** Ils se localisent à proximité de la grande fosse de Chott El-Jerid et ses ramifications, dans une position géomorphologique souvent défavorable avec la présence d'une nappe superficielle salée (Figures I, II et III).

- **Qualité des eaux géothermales:** La salinité est en moyenne égale à 4 mS/cm et peut atteindre les 5.5 mS/cm. La teneur en Ca, Mg, Na et Cl dépasse même les seuils d'une utilisation correcte (Tableaux I et II).

- **Climat:** Le climat varie de l'aride à Gabes au saharien dans la région du Jérid. La pluviométrie est faible et les vents sont violents. Dans le Jérid et Nefzaoua, on enregistre, des vents chauds (sirocco) en été, et des vents de sables au printemps.

### **1.2. LES CONTRAINTES D'ORDRE TECHNIQUE**

- **Les sols:** Dans certains périmètres les propriétés physiques des sols (texture fine, faible porosité, taux de calcaire et de gypse élevés), chimiques (alcalinité et salure élevés) ainsi que la fertilité des sols (matière organique, phosphore, azote et potassium) agissent défavorablement sur les rendements des cultures.

- **La ferti-irrigation:** Des doses et des besoins totaux en eaux (plantes et lessivage) élevés ont entraîné des problèmes d'hydromorphie des sols et un gaspillage des éléments nutritifs.

- **Le drainage:** Dans les périmètres pratiquant des cultures sur sols en place, il y a absence, pour la plupart du temps, de travaux d'aménagement de réseaux de drainage, même pour les périmètres situés près des chotts. Pour les cultures en substrat, un mauvais fonctionnement par endroits du réseau de drainage est observé.

- **La contamination par les nématodes:** Infestation de plusieurs serres cultivées durant plusieurs saisons au même endroit.

- **Autres contraintes.** Absence presque totale de brise-vents et manque d'espace pour appliquer la rotation des cultures.

## **2. ETAPES A SUIVRE POUR LA CREATION ET L'INSTALLATION D'UN PERIMETRE IRRIGUE AUX EAUX GEOTHERMALES.**

### **2.1. ETUDE DU MILIEU D'EXECUTION DU PROJET.**

- **Etude des sols** : Consultation des documents et des cartes pédologiques couvrant le milieu d'étude. La prospection, in situ de la zone d'étude ainsi l'observation de profils pédologiques, creusés dans la zone d'étude, permettront la rectification et amélioration des cartes et des données pédologiques existantes.

- **Etude topographique** : Exécution de levés topographiques et parcellaires, de plans cotés (échelle: 1/2000 ou 1/5000). Elaboration de plans types des ouvrages.....

- **Etude pédo-logique de détail**: Cartographie de détail (1/5000 ou 1/10 000), détermination des propriétés physiques des sols en place et du substrat (granulométrie, densité apparente), chimiques (calcaire, gypse, C.E., pH, bilan des sels, bases échangeables), hydriques (humidité au point de flétrissement permanent et à la capacité au champ et taux de saturation) et hydro-dynamiques (perméabilité par les méthodes Porchet et Müntz) et enfin la détermination des aptitudes des sols à l'irrigation aux eaux géothermales (tableau 1).

- **Les eaux d'irrigation** : Détermination de la composition chimique et des débits disponibles.

- **Etude hydrologique**: Dans le cas de la présence d'une nappe peu profonde. Détermination de ses caractéristiques (profondeur ou niveau statique, salinité, bilan ionique....).

- **Etude biologique** : Analyse microscopique et vérification si le sol ou le substrat est infesté par les nématodes.

- **Etude économique**: Estimation des investissements et définition des orientations de gestion du périmètre.

### **2.2. ETAPES DE L'INSTALLATION DU PROJET**

#### **2.2.1. Mesures communes**

- **Installation de brise-vents** autour des périmètres en choisissant les espèces qui s'adaptent au milieu.

- **Aménager un réseau de drainage** dans un schéma de réseau global du secteur permettant de rabattre le niveau de la nappe phréatique dans et autour des périmètres implantés à basse altitude et près des chotts et des sedhas (Figure 1). Installation de piézomètres pour le contrôle du niveau de la nappe superficielle pour les cultures sur sol en place.

- **Choix des cultures** en fonction de l'aptitude du sol et de la qualité de l'eau d'irrigation. Mettre les plantes dans les zones les moins salées (au milieu des bulbes d'humidité).

- **Adapter un système d'irrigation** en fonction des résultats de l'étude des sols, de la qualité des eaux d'irrigations et des cultures envisagées. Des critères de choix des équipements d'irrigation et de chauffage des serres ont été définis par l'équipe du projet PUGA.

- **Fournir aux sociétés menues d'équipements informatiques**, les logiciels disponibles et nécessaires pour le bon déroulement de la ferti-irrigation, en particulier le logiciel IRRAFERT.

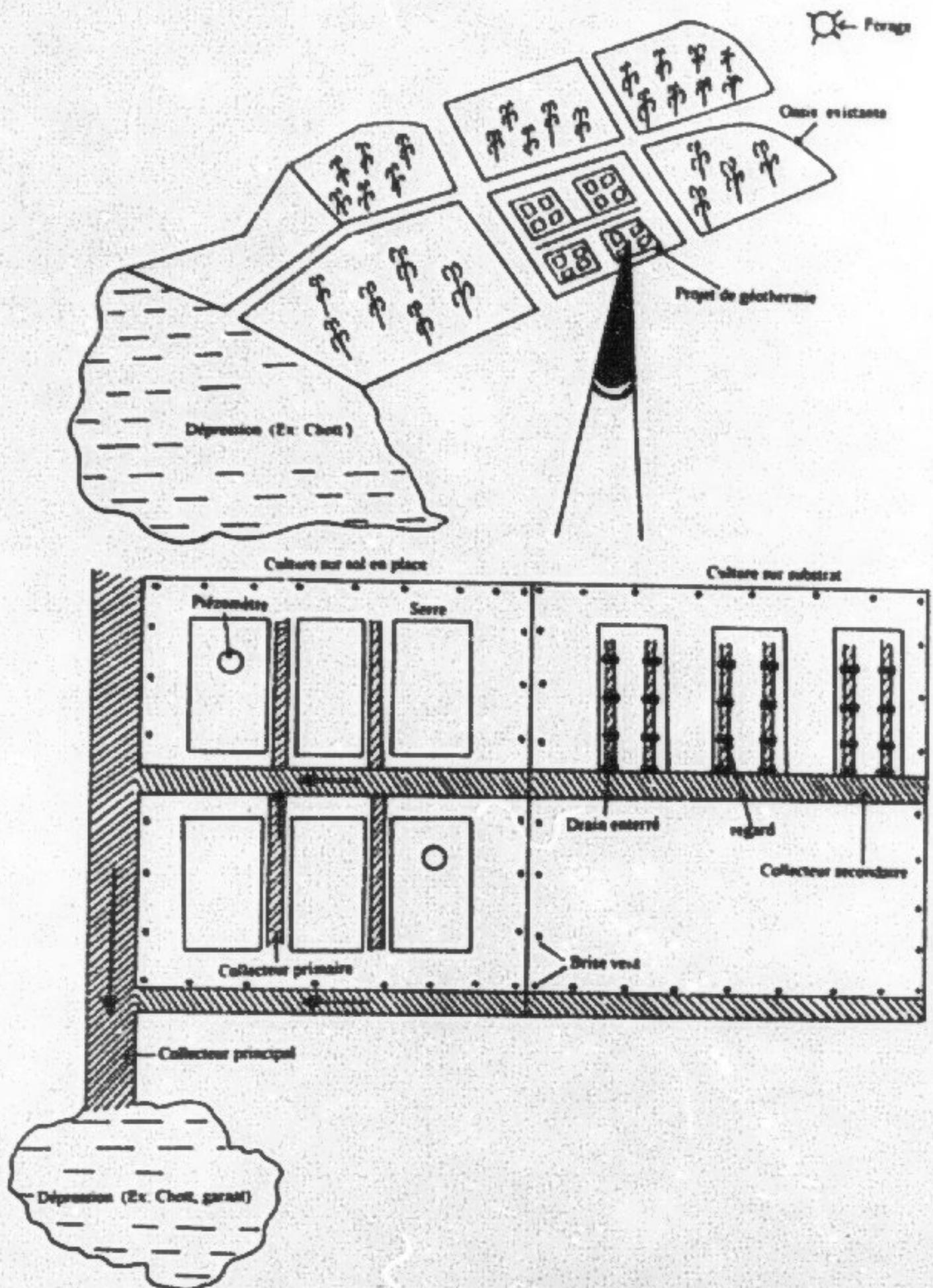


Figure 1: Aménagement d'un périmètre irrigué aux eaux géothermales par un réseau d'assainissement et de drainage

Tableau 1: Fiches guides pour le choix d'un sol à irriguer par des eaux géothermales

Tableau 1.1: Sol en place

Propriétés	Valeurs et normes proposées	Améliorations et corrections
Texture	S S L L S	Amendements sableux en cas de texture fine
Perméabilité	$K > 5 \cdot 10^{-4}$ m/s	Amélioration structurale en cas de faible perméabilité par labour et apports organiques
Salinité	CEe < 6 mS/cm	Drainage et lixiviation des sels en cas de sol salé
Taux d'alcalinisation	Na/T < 15%	Apports de gypse, en cas de Na/T > 15%
Profondeur de la nappe	NS > 2 m	Drainage et assainissement dans tous les cas où NS et présence d'une imperméable < 5m
pH de la solution du sol	6 < pH < 8,5	Corrections par le calcaire et le gypse
Calcaire	Calcaire actif < 8%	Eviter les sols à teneurs élevées en calcaire actif
Gypse	Teneur < 3%	Eviter les sols à encroûtement gypseux superficiels
Matière organique	Taux ≥ 2% sur 30 cm	Apports organiques fréquents
Capacité d'échange cationique	CEC < 10 még/100g	Suivi et surveillance périodiques du rapport Na/T
Fertilité Chimique sur 30 cm	K <sub>2</sub> O Total 250-300 ppm * P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen 40-50 ppm * NO <sub>3</sub> - 100 ppm de N *	Apports d'engrais en cas de déficience Apports d'engrais en cas de déficience Apports durant chaque campagne
Pente du terrain naturel	< 3%	Nivellement
Nappe	Profondeur > 3 m	Installation d'un réseau de drainage
Nématodes	Sol sain	En cas de la présence de nématodes, faire des cultures sur substrat

\* Hermann P., 1980 K: Vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol déterminée par la méthode Müntz

Tableau 1.2: Cultures sur substrat

Propriétés	Valeurs et normes proposées	Améliorations et corrections
Texture	Sableuse	Choix du site de prélèvement et analyse granulométrique
Profondeur	≥ 30 cm	Creusage de fossés et isolation par une matière imperméable
Salinité	CE < 7 mS/cm	Eviter des eaux saumâtres
pH	6 < pH < 8,5	Apports calcaires (pH < 6) ou changement de substrat
Calcaire total	5 < Taux < 10%	Apports calcaires (pH < 6)
Gypse	Taux < 2%	Eviter les substrats gypseux
CEC	CEC < 5 Még/100g	Eviter les substrats argileux
Fertilité	Normes et quantités conseillées par le projet PUGA	Pratiquer la ferti-irrigation
Drainage	- Pente du fond du fossé Pente > 1% - Dimensions des drains Longueur = 30 m - Filtre Gravier fin ou tout autre matériau ayant la même fonction - Débit d'écoulement > dose d'irrigation	Creusage en fonction d'un profil en long Aménager les regards sur les 30 mètres de longueur de la serre Apports et installation des filtres Assurer les ouvertures suffisantes sur les parois du drain
Irrigation	- Débit Débit < débit des drains - Eau d'irrigation CE < 6 mS/cm - Fraction lixivante 20-50 % de la dose d'irrigation - Dose d'irrigation Variable selon les cultures (se référer aux estimations du projet PUGA)	Régulation du réseau goutte à goutte Addition d'eau douce
Nématodes	Sol sain	En cas de la présence de nématodes, changer le substrat

- Les publications et les études dans le domaine de l'utilisation des eaux géothermales en agriculture, en particulier celles réalisées par les experts du projet PUGA, devront être reproduites et distribuées aux vulgarisateurs.

- Charger les vulgarisateurs de suivi de l'application au suivi de l'application des calendriers de la ferti-irrigation et du suivi des campagnes de surveillance de ces permètres.

## **2.2.2. Serri-culture sur sol en place.**

### **2.2.2.1. Avantages et inconvénients.**

**Avantages:** Coût d'installation du projet moins élevé par rapport à celui des serri-cultures sur substrat.

**Inconvénients:** Risque plus élevé d'hydromorphie, de salinisation et de contamination des sols par les nématodes. Consommation en eau importante et risque élevé de gaspillage des éléments fertilisants, en particulier, dans le cas de la ferti-irrigation.

### **2.2.2.2. Précautions à prendre.**

- Prévoir les espaces suffisants pour réaliser les opérations de rotation de cultures.
- Procéder à une amélioration texturale et structurale pour les sols à texture fine, par des amendements sableux et de matière organique.
- Au cas où les surfaces sont insuffisantes pour pratiquer l'assolement, prévoir le mode de culture sur substrat, après infestation du sol initial par les nématodes.

## **2.2.3. Serri-culture sous abris couvrant des surfaces importantes et sur des substrats allochtones**

### **2.2.3.1. Avantages et inconvénients.**

**Avantages:** Meilleur suivi, contrôle et maîtrise des facteurs de production. En cas d'apparition de problèmes de nématodes dans une serre, les dégâts infligés par ce fléau ainsi que les opérations nécessaires pour remédier à cette situation peuvent ne concerner que les lignes des substrats infectés. Les chutes de production ainsi que les frais de remplacement du substrat contaminés sont par conséquent moins importantes que dans le cas des cultures sur sol en place.

**Inconvénients:** Coût d'installation du projet élevé.

### 2.2.3.2. Précautions à prendre.

- Isoler le substrat apporté, du sol en place, par une matière imperméable (plastique par exemple) pour arrêter toute infestation ou contamination du substrat ainsi que les remontées de sels en surface par capillarité à partir d'une nappe peu profonde.
- Installation d'un réseau de drainage enterré, tout en respectant ces caractéristiques (pente des fossés, diamètre, filtre, ...). Tout en réduisant la longueur du fil de drain en aménageant des regards intermédiaires tous les 20 m (figure 2).

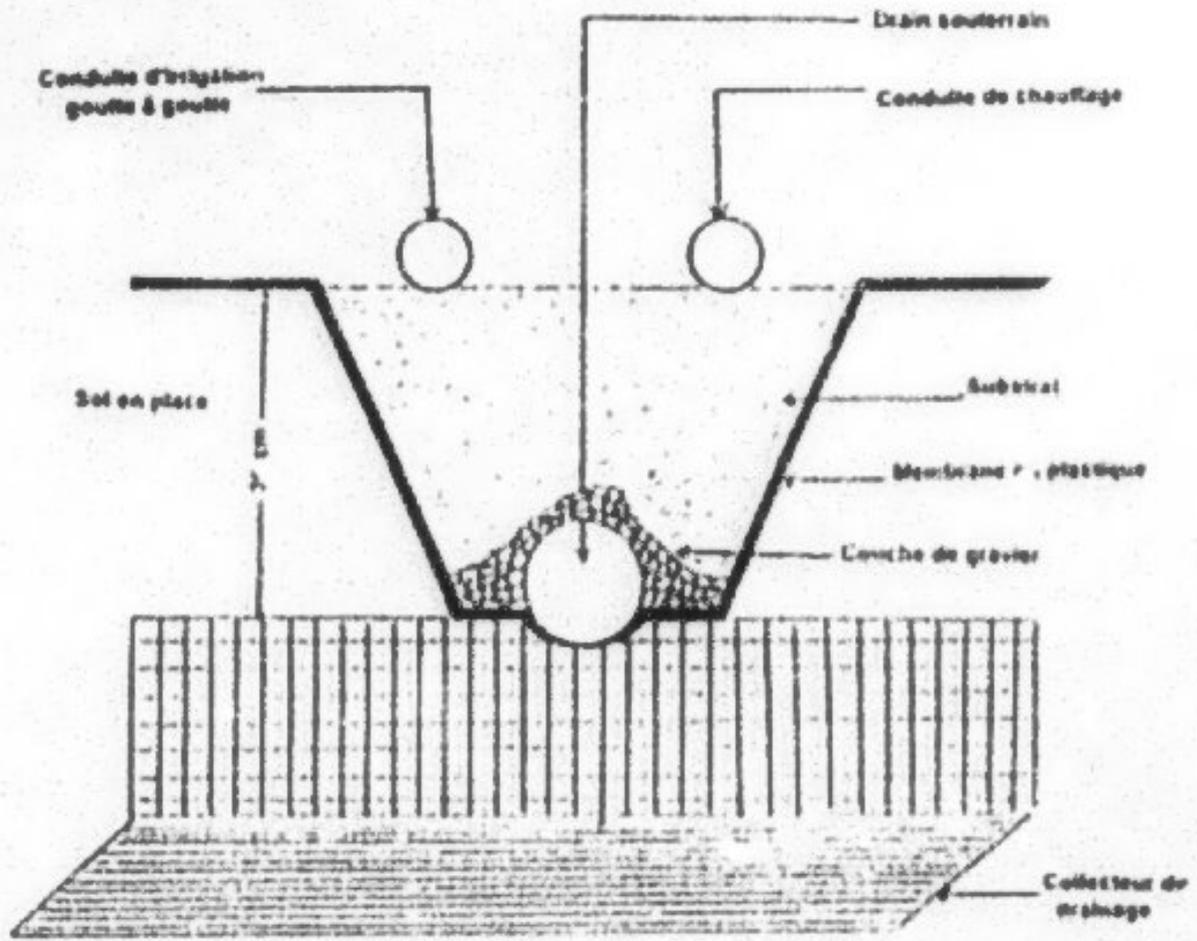


Figure 2: Coupe transversale de la fosse d'un substrat équipé d'un réseau irrigation-drainage.

## **3. METHODOLOGIE DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE**

La surveillance et le suivi réguliers concerneraient la nappe et les excès d'eau, la solution du sol, la solution fertilisante, les eaux d'irrigation et le degré de contamination par les nématodes. Les résultats de l'enquête réalisée par la Direction des Sols ainsi que ceux obtenus par les experts du projet tuniso-belge PUGA sont à la base des recommandations.

### **3.1. LES PROPRIETES PHYSICO-CHEMIQUES DES SOLS**

#### **3.1.1. Paramètres de contrôle et fréquences des prélèvements.**

- Les paramètres à contrôler mensuellement sont: la CEE, le pH et l'humidité sur 120 cm de profondeur, et Cee, pH, humidité et les éléments fertilisants sur 40 cm de profondeur.

- Les paramètres à contrôler une fois/an: le calcaire total et le gypse.

Ces déterminations restent valables aussi pour les substrats, mais les prélèvements se limiteront à l'épaisseur de ces derniers (deux échantillons à deux niveaux de profondeur).

Le matériel de prélèvement doit être propre pour éviter l'infestation du sol par les nématodes.

#### **3.1.2. Surveillance et maîtrise de la salinité des sols**

Pour réduire le risque de salinisation des sols, le lessivage artificiel des sols dans de bonnes conditions de drainage s'impose. La fraction de lessivage est en moyenne de 20 à 30% des besoins en eau des cultures et peut atteindre périodiquement les 50 %. Pour le contrôle et la maîtrise de la salinité des sols, il est conseillé de suivre les étapes suivantes:

##### **A la fin de la première campagne et durant la saison sèche :**

- Faire une lixiviation des sels par épandage d'eau.
- Réaliser un labour profond pour les cultures sur sol en place.
- Prélèvement, tous les 20 cm d'échantillons de sols sur une profondeur de 120 cm et analyse de leur conductivité électrique avant le démarrage de la 2ème campagne. Pour les substrats, les prélèvements se limiteront à l'épaisseur du substrat.
- Recours à un éventuel 2ème épandage d'eau avant la mise en culture, lorsque les résultats d'analyses chimiques des sols montrent une salinité élevée (supérieur à 3 mS/cm) (Tableau V) et/ou supérieure à la tolérance des cultures à introduire.

##### **En cours de campagne:**

- Prélèvement mensuel, pour chaque propriété, d'échantillons de sol, pour contrôler la composition chimique de la solution du sol et la quantité d'éléments fertilisants disponibles. Une détermination de l'humidité du sol en fonction de la profondeur est conseillée.

- Fertiliser adéquatement en contrôlant la fraction de lessivage et la salinité des sols.
- L'irrigation fertilisante avec de l'eau acidifiée seulement: En culture sur substrat, il est conseillé de réserver la dernière irrigation de la journée pour l'opération de lessivage avec de l'eau acidifiée. Pour les cultures sur sol en place, il est plutôt conseillé de procéder à une journée sans fertilisants chaque 3 à 4 jours dès que la salinité du sol commence à augmenter.
- L'utilisation des acides humiques et fulviques pour améliorer la porosité des sols.
- Juger et prendre les décisions appropriées en fonction des résultats d'analyses: modification de la composition de la solution fertilisante, lixiviation, renouvellement de substrat, déplacement de la serre....

Durant les campagnes et les inter-campagnes suivantes. Reprendre les mêmes procédures

## 3.2. LA FERTI-IRRIGATION (FERTIGATION)

### 3.2.1. Paramètres de contrôle et fréquences des prélèvements

- Analyse chimique complète trimestrielle des eaux d'irrigation.
- Analyse chimique complète mensuelle des solutions fertilisantes.
- Analyse mensuelle des eaux de drainage (CE, pH, N, P, K).

### 3.2.2. Surveillance et maîtrise de la ferti-irrigation

Pour le suivi et la surveillance de la fertilisation, il est conseillé de suivre les étapes suivantes:

#### Avant la mise en culture:

- Faire des prélèvements d'échantillons de sols pour chaque serre tous les 20 cm, sur une profondeur de 100 cm. Sur les échantillons de l'horizon de surface (0-20 et 20-40cm), faire une analyse chimique complète (Conductivité électrique, pH, bilan des sels, bases échangeables, M.O, azote, phosphore et potassium assimilables). Sur le reste des échantillons, faire l'analyse de la conductivité électrique du sol.

- Fertigation en solutions semi-équilibrées, spécifiques à chaque culture. Cette dernière consiste à apporter les engrais à chaque irrigation afin d'avoir des teneurs en macro-éléments (N,P,K) dans la solution fertilisante identiques à celles de la solution équilibrée, tout en tenant compte de la composition chimique des eaux géothermales et de la fertilité du sol (Tableaux VI et VII). Les oligo-éléments sont fournis aux cultures par pulvérisation foliaire.

- En tenant compte des résultats d'analyses de laboratoire des échantillons de sols et ceux des eaux de forage et des besoins des cultures, déterminer la composition chimique de la solution fertilisante.

- Analyse chimique de la solution fertilisante et confrontation des résultats d'analyses avec ceux prévus.

#### Au cours de la campagne:

- Respecter le calendrier des irrigations et de la fertilisation. Dans ce cadre, un logiciel "IRRFERT" a été développé, il permet de calculer les besoins en eau des cultures, la durée des irrigations et la quantité d'engrais à apporter.

- Fournir les besoins en oligo-éléments des plantes par pulvérisation foliaire.

- Faire un diagnostic foliaire chaque fois qu'il y a des symptômes de carence sur les feuilles. En se basant sur les résultats d'analyses de laboratoire, corriger les apports en oligo-éléments et/ou en éléments majeurs.

- Prélèvement périodique de la solution fertilisante (mensuel) pour analyses chimiques et éventuel ajustement du mélange.

### **3.3. LE DRAINAGE**

- Contrôle périodique du niveau et de la salinité de la nappe (mensuel) pour les cultures sur sol en place.

- Pour les cultures sur substrat: Parallèlement aux analyses de la conductivité électrique du sol et des mesures de l'humidité volumique, effectuer des mesures mensuelles des débits des drains; ces déterminations permettront de contrôler l'efficacité du réseau de drainage.

Dans le cas où l'humidité volumique des échantillons de sols est supérieure à la capacité au champ et/ou le débit de drainage est inférieur à celui prévu par l'étude:

- Arrêter ou réduire momentanément les irrigations.

- Déterminer le tronçon de drain non fonctionnel, entraînant la stagnation de l'eau dont les conséquences peuvent être une humidité élevée à la surface du sol et/ou un jaunissement des feuilles.

- Faire un curage du tronçon de drain défectueux. Si la situation ne s'améliore pas, remplacer ce dernier.

### 3.4. LES NEMATODES ET LES MESURES PHYTO-SANITAIRES

- Faire une analyse cryptogamiques d'échantillons de sols, une fois/an (à la fin de la période culturale). En cas de la présence de nématodes, remplacer le substrat contaminé.
- Faire une analyse bactériologique d'échantillons de sols, une fois/an (à la fin de la période culturale). En cas de la présence de nématodes, remplacer le substrat contaminé.
- Eviter la contamination par les outils de travail du sol et de prélèvements d'échantillons de sols en procédant à leur nettoyage ou carrément à leur stérilisation en passant d'une serre à l'autre. Les outils de travail du sol peuvent être désinfectés à l'eau de Javel ou au formol.
- Faire associer les instituts de recherche dans les opérations de suivi et de recherche de nouveaux moyens de lutte contre la prolifération des nématodes et les dégâts qu'ils causent aux cultures.
- Vérification de l'impact de l'épandage des eaux chaudes (70°C pour la nappe du Continental Intercalaire et 45°C pour la nappe de Djeflara) sur l'élimination (pourcentage) ou la survie de ces êtres vivants dévastateurs.
- Affecter des chercheurs spécialisés en cultures protégées et en phytopathologie, aux instituts de recherche représentés dans la région, pour suivre et identifier les problèmes freinant la production et préconiser les solutions et les remèdes nécessaires.

### 3.5. ENTRETIEN DU RESEAU D'IRRIGATION

En plus des difficultés liées à la salinité des sols, au drainage et aux nématodes, des problèmes de colmatage des gaines d'irrigation ont été observés. Ce phénomène est, en grande partie, à l'origine de l'hétérogénéité de l'humidité des sols, ce qui pourrait favoriser l'hydromorphie et la salinisation des sols. Pour réduire ce risque, il est recommandé:

- D'éviter le refroidissement atmosphérique des eaux (sur des tours de refroidissement), qui est à l'origine des colmatages et d'utiliser la méthode de refroidissement par aéro-réfrigération (par tuyaux de chauffage).
- D'irriguer avec une solution fertilisante à pH 5,5 et d'effectuer un entretien régulier des irrigames (tous les 2 ou 3 semaines) en augmentant la pression de l'eau dans le réseau d'irrigation.

### 3.6. ESTIMATION DU COUT D'UNE OPERATION DE SUIVI

Les prix retenus dans cette estimation sont ceux du tableau de tarification des analyses des sols et des eaux, élaboré par le Ministère de l'Agriculture, en 1992. L'estimation du coût annuel d'une opération de surveillance des sols, pour une culture en place est d'environ 863 dinars et de 705 dinars pour les cultures sur substrat (Tableaux 2 et 3). Le prélèvement d'échantillons est effectué, par unité de production donc par propriété. Pour les eaux d'irrigation, l'analyse concerne tout le périmètre puisque la source (forage) est commune.

Tableau 2: Estimation du coût annuel d'une opération de surveillance pour une culture sur sol en place

Paramètres à analyser	Nombre d'échantillons/prélèvement	Nombre de fois/an	Nombre Total	Prix Unitaire	Prix Total
<b>Saptes phytiques</b>					
- CE	1	12	12	1,500 D	18,000 D
- Bilan ionique	1	2	2	12,000 D	24,000 D
<b>Solutions du sol</b>					
- CEs	6	8	48	2,500 D	120,000 D
- pH	6	8	48	1,800 D	86,400 D
- Humidité	6	8	48	1,000 D	48,000 D
- P2O5 assimilable	2	8	16	4,000 D	64,000 D
- K2O total	2	8	16	10,000 D	160,000 D
- Azote total	2	8	16	5,000 D	80,000 D
- CaCO3 total	6	1	6	1,800 D	10,800 D
- Oxygène	6	1	6	7,000 D	42,000 D
<b>Eau d'irrigation</b>					
- CE	1	4	4	1,500 D	6,000 D
- Bilan ionique	1	4	4	12,000 D	48,000 D
- pH	1	4	4	1,500 D	6,000 D
<b>Solutions fertilisantes</b>					
- CE	1	8	8	1,500 D	12,000 D
- Bilan ionique	1	8	8	12,000 D	96,000 D
- pH	1	8	8	1,500 D	12,000 D
<b>Eau de drainage</b>					
- CE	1	2	2	1,500 D	3,000 D
- Bilan ionique	1	2	2	12,000 D	24,000 D
- pH	1	2	2	1,500 D	3,000 D
<b>Totaux</b>		<b>284</b>			<b>861,000 D</b>

Tableau 3: Estimation du coût annuel d'une opération de surveillance, pour une culture sur substrat

Paramètres à analyser	Nombre d'échantillons/prélèvement	Nombre de fois/an	Nombre Total	Prix Unitaire	Prix Total
<b>Solutions et substrats du substrat:</b>					
- Granulométrie	1	1	1	7,500 D	7,500 D
- CEs	2	8	16	2,500 D	40,000 D
- pH	2	8	16	1,800 D	28,800 D
- Humidité	2	8	16	1,000 D	16,000 D
- P2O5 assimilable	2	8	16	4,000 D	64,000 D
- K2O total	2	8	16	10,000 D	160,000 D
- Azote total	2	8	16	5,000 D	80,000 D
- CaCO3 total	1	1	1	1,800 D	1,800 D
- Oxygène	1	1	1	7,000 D	7,000 D
<b>Eau d'irrigation</b>					
- CE	1	4	4	1,500 D	6,000 D
- Bilan ionique	1	4	4	12,000 D	48,000 D
- pH	1	4	4	1,500 D	6,000 D
<b>Solutions fertilisantes</b>					
- CE	1	8	8	1,500 D	12,000 D
- Bilan ionique	1	8	8	12,000 D	96,000 D
- pH	1	8	8	1,500 D	12,000 D
<b>Eau de drainage</b>					
- CE	1	8	8	1,500 D	12,000 D
- Bilan ionique	1	8	8	12,000 D	96,000 D
- pH	1	8	8	1,500 D	12,000 D
<b>Totaux</b>		<b>284</b>			<b>785,100 D</b>

Tableau 4: Récapitulation des opérations de suivi et de contrôle des périmètres irrigués par les eaux géothermiques.

	Paramètres de contrôle	Fréquence du suivi	Période de fin de culture. Préparation du sol	Période culturale
Soil	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Ombre-ombre échantillon de l'humidité (CEA)</li> <li>② CEA, et humidité sur 120 cm (sol en place). Pour l'humidité relative (R-40 cm), analyses chimiques complètes ainsi qu'une analyse cryoscopique (pression osmotique de solutés).</li> <li>③ CEA, humidité sur 120 cm. CEA, pH, N, P, et K, pour l'humidité relative (R-40 cm)</li> <li>④ OR, pH et teneur des sols.</li> </ul>	<p>Mensuelle</p> <p>Trimestrielle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Labour profond (pour cultures sur sol en place).</li> <li>② Épandage des engrais de fertilité.</li> <li>③ Prélevement d'échantillons de sols. Si le CEA est élevé, faire un 3<sup>e</sup> mois épandage des engrais de fertilité.</li> <li>④ Prélevement d'échantillons de sols sur les 20 cm, sur une profondeur de 120 cm pour les cultures sur sol en place. Pour les cultures sur solutés, les prélevements se limitent à l'épandage de solutés.</li> <li>⑤ Prélevement d'échantillons d'eau d'irrigation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Prélevement d'échantillons de sols (selon que ①).</li> <li>② Selon que ①</li> <li>③ Selon que ②. Sur la base des résultats d'analyses de ① et ②, parler en vue de corriger les carences chimiques de la solution fertilisante.</li> </ul>
Eau d'irrigation				
Solution Fertilisants	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Analyse chimique complète.</li> </ul>	Mensuelle		
Eau de drainage	<ul style="list-style-type: none"> <li>② Ombre, volume, CEA, pH, N, P et K.</li> </ul>	Mensuelle		<ul style="list-style-type: none"> <li>③ Prélevement d'échantillons des eaux de drainage</li> </ul>
Nappe	<ul style="list-style-type: none"> <li>③ Pour les cultures sur sol en place (pH, salinité et teneur en nitrate).</li> </ul>	Mensuelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>④ Prélevement d'échantillons d'eau et mesure du pH de la nappe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⑤ Selon que ③.</li> </ul>
Plante	<ul style="list-style-type: none"> <li>④ Analyses solutés (si cas d'une solution saturée des cultures).</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>⑥ En cas de carence ou d'excès, corriger les aspects d'engrais.</li> </ul>

① : Echantillon à suivre durant la période de fin de culture (Préparation du sol).

② : Echantillon à suivre durant la période culturale.

## CONCLUSION GENERALE

Les périmètres irrigués par les eaux géothermales dans le Sud tunisien, destinés à la production de cultures de primeurs, couvrent une superficie d'environ 72 ha, répartis sur les trois gouvernorats où les eaux ont été captées, en l'occurrence Gabès, Kébili et Tozeur. Des contraintes naturelles et des anomalies techniques qui sont à l'origine d'une réduction de la production par rapport à l'optimum ont été relevées. Leurs causes reviennent généralement aux facteurs du milieu naturel et particulièrement le sol (ambiance physico-chimique et thermique) et la topographie qui ne sont pas favorables associés à une mauvaise application des techniques introduites pour améliorer le secteur. En effet, la majorité de ces projets sont situés autour des chotts d'El Jerid et d'El Fejaj, sur des zones à basse altitude où s'étendent des sols affectés de salure et contaminés par une nappe d'eau salée peu profonde. Un tel milieu nécessite des aménagements préalables pour éliminer les sels, éloigner leur origine et le rendre apte à la production en intensif. Malgré l'absence de tels aménagements, les promoteurs s'installent tant bien que mal et adoptent de plus en plus la procédure de culture sur substrat.

Les principales contraintes techniques touchent pratiquement, soit totalement, soit partiellement, tous les périmètres sans exception et leurs causes sont, pour un sol en place:

- Soit une remontée du niveau de la nappe salée, créant une ambiance à la fois d'hydromorphie et de salure.
- Soit une indisponibilité de terrains supplémentaires ou l'impossibilité de déplacer de lourdes installations pour faire la rotation des cultures.

Les producteurs ont recours, pour éviter les conséquences de ces deux facteurs défavorables, aux cultures sur substrats sableux ou en remplaçant la couche arable superficielle par un nouvel apport de terre non contaminée. La deuxième solution n'est qu'un refuge provisoire puisque les contaminations par les nématodes ne sont pas exclues même durant la 1ère année de mise en place de la nouvelle couche de sol. La 1ère solution est appliquée avec un certain taux de réussite, mais le fait de négliger certains détails, fait apparaître les anomalies techniques sur la plupart des lignes de culture se traduisant par l'apparition d'un phénomène d'hydromorphie provoquant le ralentissement de la croissance ou le dépérissement de certaines espèces sensibles.

Pour remédier à la situation actuelle, dans les périmètres souffrant de problèmes de salinisation, causés par l'hydromorphie des sols, il est indispensable d'installer un réseau de drainage, dans les serres et autour des périmètres utilisant le sol en place comme support des cultures.

Pour le choix d'un nouveau site d'implantation d'un périmètre fonctionnant aux eaux géothermales, des mesures préventives et des critères de choix des sols et des éventuels aménagements, précédant la mise en culture, ont été avancés dans le texte.

Pour sauvegarder la pérennité de ces périmètres, une méthodologie de suivi et de surveillance des sols a été définie. De même, des recommandations pour le contrôle et la maîtrise de la salinité des sols et de la ferti-irrigation ont été formulées. Les résultats obtenus par ce contrôle, permettraient aux vulgarisateurs et aux exploitants de mieux cibler leurs interventions.

Enfin, et compte-tenu de la gravité des dégâts que provoquent les nématodes qui dépassent, de loin, dans leur importance, les dégâts causés par la salure ou l'hydromorphie, des méthodes de lutte et des stratégies d'intervention doivent être arrêtées par les services techniques chargés de la défense des cultures en associant les instituts de recherche spécialisés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abidi B. et Klila M., 1995: Mobilisation et gestion des ressources en eau dans les oasis du Djerid. 'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- Ben Hassine H., Boukaila F, Mtimet A. et Zidi Ch., 1996: Les cultures sous serres irriguées par les eaux géothermales dans le sud tunisien. Document méthodologique des données de base (eau et sol). Direction des sols. E.S. , juin 1996.
- Ben Salah A., 1968: Etude pédologique des oasis du groupe de Douz E: 370. Direction des Sols.
- Hachicha M. et Mtimet A., 1995: Termes de référence des études pédologiques dans les périmètres irrigués. Direction des sols ES 284.
- Hermann P., 1980: Manuel de travaux pratiques d'analyse des sols, pour le DAA Science du sol-aménagement et le DEA Agronomie (option pédologie). Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Chaire de Géologie- Science du sol.
- Institut des Régions Arides, Centre Régional de Kébili: Mesures prophylactiques et méthodes d'interventions contre les nématodes sous serres chauffées.
- Mamou A., 1995: Incidence de l'exploitation des nappes du Sud Tunisien, dans les Oasis, sur la qualité chimique de leurs eaux. 'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- Mtimet A., Besbes M., Ben Ammar M., Bel Hadj Belgacem M., 1987-89: Sauvegarde des oasis du gouvernorat de Gabès: état de nature des sols et comportement hydrique, ES 241. Dir. des Sols, 57 p; ES 259.
- Mtimet A. et Hachicha M., 1995: Hydromorphie et salinisation dans les oasis tunisiennes. Revue Sécheresse. Décembre 1995.
- Mtimet A. et Pontanier R., 1995: Contraintes édaphiques et utilisation des eaux saumâtres en milieu oasis. Sols de Tunisie N°16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- Pontanier R., 1968: Etude pédologique des oasis d'Am Zerig E: 380. Direction des Sols.
- Pouget M., 1964: Etude pédologique de l'oasis de Gabès. 1/5.000. Direction des Sols.
- Said A., 1994 : Suivi analytique de la fertilité dans les projets de la géothermie du gouvernorat de GABES. Ministère de l'Agriculture. CRDA de GABES, Arrondissement des Sols.
- Said A., 1995: Evolution de la salinité dans les oasis de Gabès. 'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- عمر مطمط، 1995: موارد المياه، إمكانية استخدام مياه الصرف للمحبة بواحات نفروزة (الجنوب التونسي).  
'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.

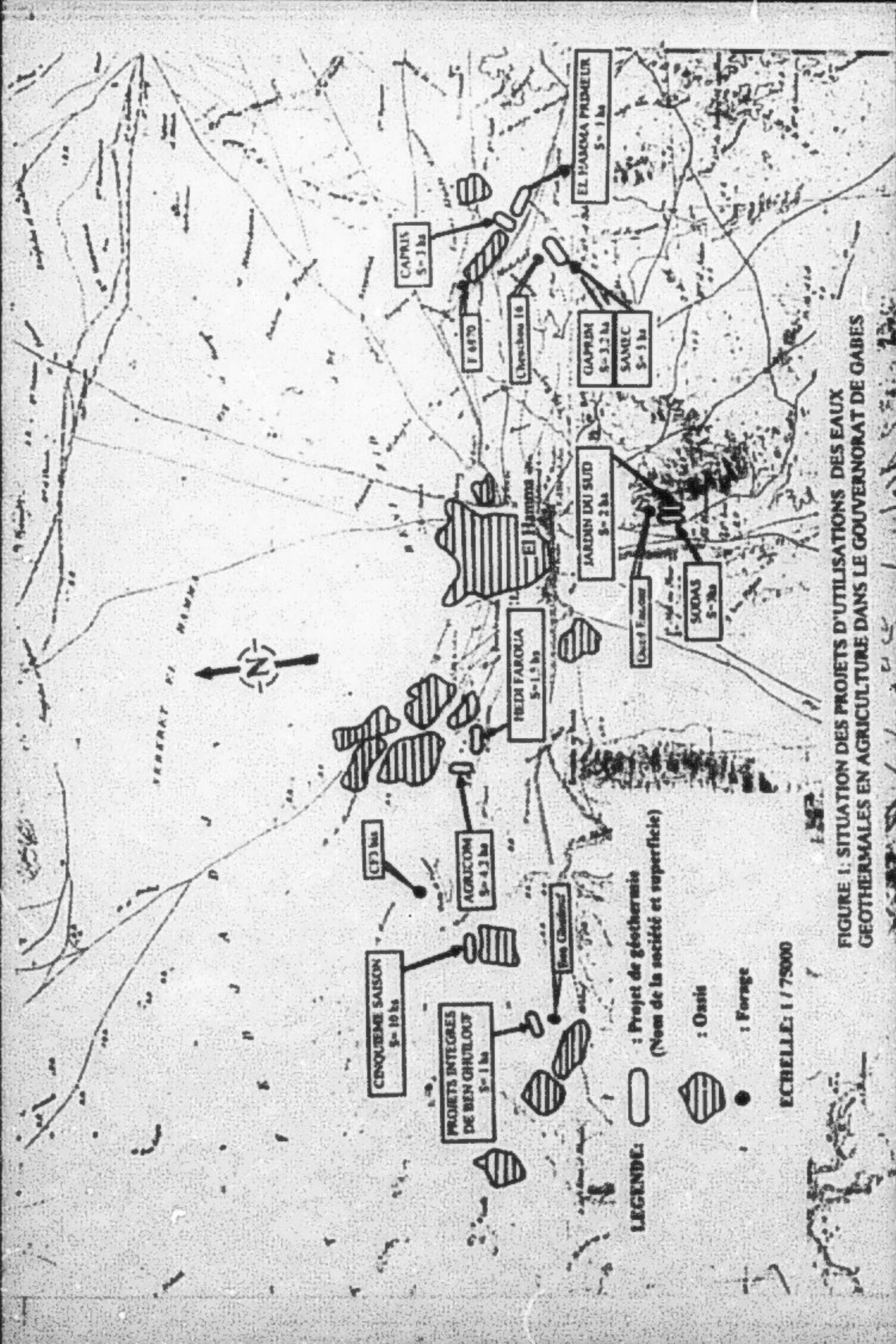
## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES RELATIVES AUX PROJETS PUGA<sup>1</sup>

- Calfert.wri**: Le calcul de la quantité d'engrais à diluer dans l'eau d'irrigation, en utilisant des solutions semi-équilibrées, pour les cultures sous serre chauffée.
- Criclaso.wri**: Les critères de classification et de choix des sols pour leur utilisation en culture protégée chauffée et irriguée par les eaux géothermales.
- Corrocol.wri**: Les problèmes de corrosion et de colmatage des réseaux et des émetteurs en irrigation fertilisante.
- Draines.wri**: Le drainage dans les périmètres chauffés et irrigués avec les eaux géothermales.
- Evolsec4.wri**, Juin 1995: Evolution du secteur au niveau international.
- Fertigsa.wri**: La fertigation des cultures sous serres chauffées et irriguées avec les eaux géothermales.
- Ficalcir.wri**: Le calcul des besoins en eaux d'irrigation des cultures sous serres chauffées.
- Ficarew.wri**: Les carences et excès nutritifs: Symptômes, causes et remèdes.
- Ficonir.wri**: Fiche de la conduite de l'irrigation sous serre chauffée par les eaux géothermales.
- Fisal.wri**: La mesure et le contrôle de la salinité sous serre.
- Irricotr.wri**: Méthodes pour mesurer la salinité du sol et pour nettoyer les gâmes.
- Maisafer.wri**: Contrôle et maîtrise de la salinité sous serre en irrigation fertilisante.
- Noequse.wri**: Proposition de normalisation pour les équipements de chauffage et d'irrigation des serres chauffées par les eaux géothermales.
- Normeser.wri**: Réflexions sur la normalisation dans la géothermie. Structure de la serre.
- Qualsau.wri**: L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation des cultures sous serres.
- Rapport de synthèse final**, Octobre 1995. Ministère de l'Agriculture, Direction Générale de la Production Agricole, Projet de coopération Tuniso-Belge PUGA.
- Refroidi.wri**: Le refroidissement des eaux géothermales.
- Resubfer.wri**: Réflexions concernant les cultures sur substrat, la fertigation et la qualité.
- Simulren.wri**: La simulation des rendements des cultures en utilisant les données climatiques et la salinité.
- Stratedy.wri**: Amélioration des termes de référence des dossiers d'études.
- Tabirri.wri**: Tableau d'irrigation: Besoins en eau des cultures sous serre.
- Tdreperl.wri**: Les termes de référence des études concernant la création des périmètres géothermiques.
- Uniteges.wri**: Proposition de la structure tunisienne apte à coordonner et dynamiser les activités de la géothermie en agriculture.

<sup>1</sup>: Références bibliographiques publiées sous forme de notes, par la Direction Générale de la Production Agricole et par les experts du projet de coopération Tuniso-Belge PUGA. En absence de date de publication, ces références ont été classées selon les noms attribués aux fichiers de traitement de texte.







LEGENDE: : Projet de géothermie  
 (Nom de la société et superficie)

: Oasis  
 : Forage

ECHELLE: 1/75000

FIGURE 1: SITUATION DES PROJETS D'UTILISATIONS DES EAUX GEOTHERMALES EN AGRICULTURE DANS LE GOUVERNORAT DE GABES

## ANNEXES

Figure I. Localisation des projets d'utilisation des eaux d'origine géothermique en agriculture dans le gouvernorat de Gabès.

Figure II: Plan de situation des sites géothermiques du gouvernorat de Kébili.

Figure III: Plan de situation des sites géothermiques du gouvernorat de Tozeur.

Tableau I : Propriétés physico-chimiques des sols et risque de dégradation des sols des périmètres irrigués par les eaux géothermales.

Tableau II : Composition chimique des eaux géothermales utilisées en irrigation pour les cultures de primeurs dans le sud Tunisien.

Tableau III: Classification des eaux géothermales selon les diagrammes USDA et de PIPER.

Tableau IV: Appréciation de la conductivité électrique des sols CE (mS/cm) pour les cultures sous serre en condition d'irrigation fertilisante.

Tableau V: Appréciation de la richesse du sol ou du substrat à partir des analyses chimiques d'un extrait aqueux 1:2.

Tableau VI: Normes de la solution équilibrée (me/l) pour les différentes espèces culturales.

Tableau VII: Estimation du coût annuel d'une opération de surveillance pour une culture sur sol en place.

Tableau VIII: Estimation du coût annuel d'une opération de surveillance, pour une culture sur substrat.

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques des sols et risque de dégradation des sols des périmètres irrigués par les eaux géothermales

UNITES	Périmètres éloignés des chotts et des sebkhas	Cultures sur substrat	Périmètres péri-chotts non contaminés par une nappe	Périmètres péri-chotts contaminés par une nappe
<b>PERIMETRES</b>	Chencho	Sème SALISON et CAPRIS	El Hammam de Tosser	Dozz
<b>FACTEURS DE RISQUES</b>				
Texture	Surface Profondeur	Epailletée à L.A. Sablo-limoneuse	Sableuse	Sableuse
Salinité	Surface	Très élevée	Assez élevée	Moyenne à élevée
	Profondeur	Élevée	Moyenne	Moyenne
Cypes		Moyenne	Très élevée à partir de 50 cm	Faible à moyenne
Calcaire Actif		Moyenne	Faible	Faible
Fertilité	M.O.	Très faible	Moyenne	Faible
	N2O assimilable	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante
	P2O5 assimilable	Faible	Élevée	Faible
Hydrascope		Temporaire	-	Permanente
Autres		Brise-vents Nématodes	Brise-vents Nématodes	Brise-vents Nématodes
Hierarchisation des contraintes		(Sème Saison) Drainage Salinité Fertilisation	Salinité Enrichissement Cypres Moyen	Hydroscopie Salinitation Fertilisation
Risque de dégradation des sols		Élevé	Moyen	Élevé

\* : Situation relative au mois de Février - Mars 1996.

**Tableau II: Composition chimique des eaux géothermales utilisées en irrigation pour les cultures de primeurs dans le sud Tounisien.**

Forage	Date de Prélèvement	pH	CE mS/cm	RS g/l	Eléments (mg/l)							
					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SR
El Hamma C11b	26-3-96	7.0	3.2	2.3	15.3	3.0	17.0	1.37	14.5	19.6	5.0	5.6
Touzer C12	26-3-96	6.9	4.5	3.2	19.6	3.9	20.2	1.32	31.8	20.0	4.0	8.3
Limagras C18	27-3-96	7.7	3.5	2.5	15.2	6.0	14.3	1.12	16.4	18.3	4.0	4.4
Deuz C112	27-3-96	7.0	5.5	4.0	14.5	7.0	37.0	1.03	41.0	16.6	5.0	10.8
Oum El Farth	26-3-96	7.4	3.5	2.5	14.2	7.0	15.2	1.12	18.3	16.1	5.0	4.7
Saldane	26-3-96	7.3	3.8	2.9	18.6	6.0	17.3	0.98	18.3	21.8	5.0	5.0
Jenna	26-3-96	7.5	4.0	3.0	12.5	6.0	23.8	1.0	20.4	17.7	5.0	7.8
Chouchou I	4-3-96	7.5	4.7	3.3	19.5	8.0	16.5	1.09	20.4	22.4	4.0	4.5
Khebayat CF1b	5-3-96	7.9	4.0	2.9	17.9	8.0	12.4	1.08	14.5	24.2	2.0	3.5
Khebayat CF3b	5-3-96	7.9	3.9	2.8	19.2	8.0	12.4	1.08	13.4	21.8	5.0	3.4
Jardins du Sud	15-3-96	7.2	4.4	3.3	20.2	6.0	21.4	1.90	24.0	23.0	4.0	9.9

**Tableau III: Classification des eaux géothermales selon les diagrammes USDA et de Piper.**

Forage	Classement sur le diagramme de Riverside (USDA)	Pouvoir de salinisation	Pouvoir d'alcalinisation	Classement sur le diagramme de Piper	Aptitude à l'irrigation
El Hamma C11b	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Touzer C12	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée sodique	Moyenne
Limagras C18	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Deuz C112	C4S2	Très fort	Moyen	Chlorurée sodique	Médiocre
Oum El Farth	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Saldane	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Jenna	C4S1	Très fort	Faible	Sulfatée sodique	Moyenne
Chouchou I	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Khebayat CF1b	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Khebayat CF3b	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne
Jardins du Sud	C4S1	Très fort	Faible	Chlorurée et sulfatée calcique	Moyenne

**Tableau IV: Appréciation de la conductivité électrique des sols CE (mS/cm) pour les cultures sous serre en condition d'irrigation fertilisante (Maisefer.wri)**

CE (1/2)	CEs	CEe	Appréciation
< 1	< 4	< 2.5	difficile à atteindre
1 - 1.5	4 - 6	2.5 - 4	Très bon
1.5 - 2	6 - 8	4 - 5.5	Bon
2 - 3	8 - 12	5.5 - 7.5	Acceptable
3 - 4	12 - 16	7.5 - 12	Dangereux
> 4	> 16	> 12	Catastrophique

avec: CE (1/2): Conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/2

CEs : Conductivité électrique de la solution du sol

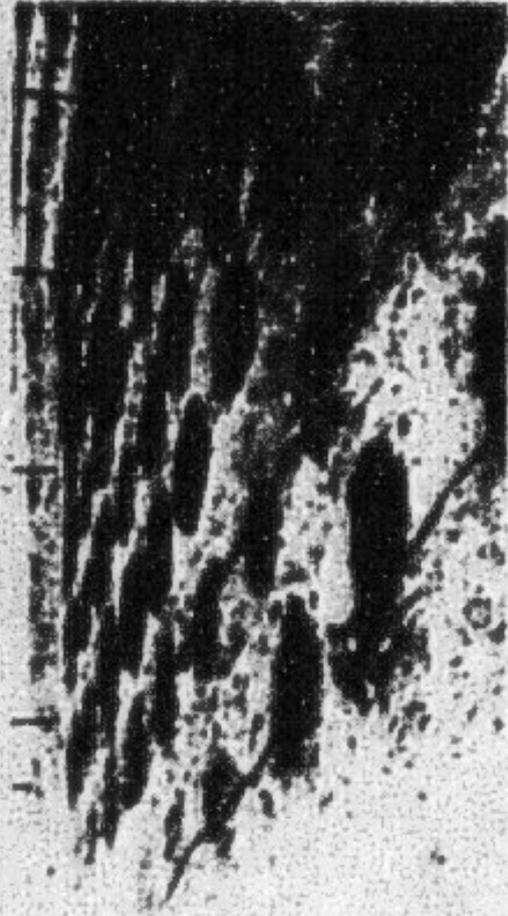
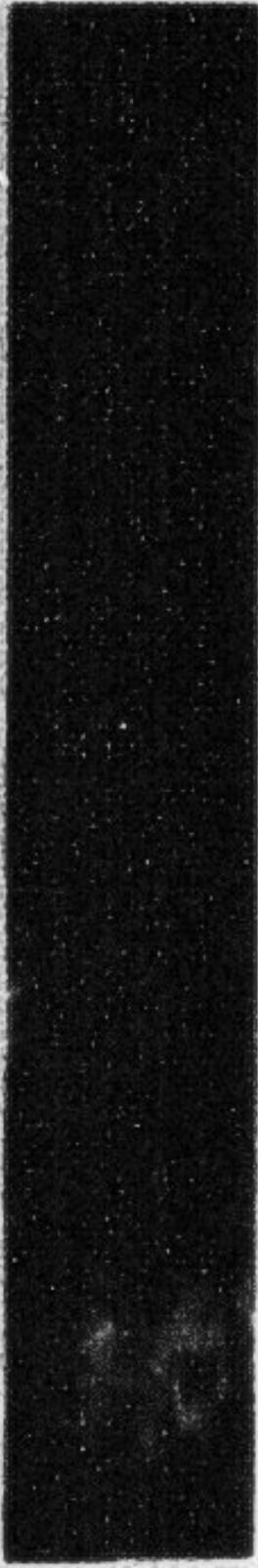
CEe : Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée estimée par la formule suivante:  $CEs = 1.6 CEe - 0.18$

**Tableau V: Appréciation de la richesse du sol ou du substrat à partir des analyses chimiques d'un extrait aqueux 1:2 (in Maisefer.wri)**

Appréciation	N (me/l)	P (me/l)	K (me/l)	Mg (me/l)	Besoin
Pauvre	40	< 10	< 80	45	Solution équilibrée
Moyennement pauvre	60	10	80-120	60	Solution équilibrée
Bien pourvu	80	17	120-160	60	Exportation
Riches	120	> 20	> 160	90	Nuls

**Tableau VI: Normes de la solution équilibrée (me/l) pour les différentes espèces culturales.**

Culture	N	K	Ca	Mg	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Tomate	15.3	8.8	8.5	4	1	7.5
Melou	14.3	6	8.5	2	1.3	2.5
Concombre	17.3	8	8	2.8	1.3	2.8



L'urgence par Dieu d'ici, on peut voir les autres humilités par des  
épaveurs individuels et les types de photos (S. Dumas)



payages du secteur de la géothermie  
(12.09.1986)

---

**FIN**

**27** . . . . .

**VUES**