B 2061

8514

République Tunisienne
Ministère de l'Agriculture
I. R. E. S. A.
C. R. G. R.

MICROFICHE

S. E. R. S. T
O. N. A. S
G. T. Z

الأيام العلمية لمركز البحوث في الهندسة الريفية

Les actes des premières
journées scientifiques du C. R. G. R.

استعمال المياه المالحة والمعالجة في الفلاحة

UTILISATION DES EAUX SALEES ET USEES EN AGRICULTURE

نابل 27 - 28 سبتمبر 1994

Novembre 1995

افتتـــاحيـــة

عقد مركز البحوث في الهندسة الريفية بالتعاون مع كتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا ووزارة البيئة والتهيئة الترابية والديوان القومي للتطهير والبعثة الألمانية للتعاون الفني أيامه العلمية الأولى بولاية نابل وذلك في الفترة 27 ـ 28 سبتمبر 1994 .

وافتتح السيد عامر الحرشاني كاتب الدولة لدى وزير الفلاحة المكلف بالموارد المائية وذلك بحضور السيد الممثل القار لمنضمة الأغذية والزراعة والسيد والي نابل هذه الندوة فأكد في كلمته عن أهمية الموضوع وحث على بحث إشكاليات استعمال المياه الشبه المالحة والمعالجة في الفلاحة ويعتبر هذا الموضوع من الأولويات التي أولتها الدولة الإهتمام والدعم المادي والبشري وقال في كلمته أن تركيز البحوث على موضوع المياه شبه المالحة في المناطق السقوية وفي الواحات أساسي نظرا لأن أغلب مواردنا المائية الجوفية منها والسطحية تمتاز بملوحة متصاعدة. وأشار إلى جدوى دراسة اقتصادية واجتماعية لاستعمال هذه النوعية من المياه في فلاحتنا. كما أكد على قيمة وضرورة حسن إستعمال مواردنا المائية المستعملة والمعالجة علما وأن حجمها سيتضاعف في السنوات القليلة القادمة باعتبار سياسة الدولة الرائدة في هذا المجال والتي تعتمد على تكثيف محطات التطهير.

وبعد ذلك بدأت الجلسة الصباحية برئاسة السيد عبد القادر الشريف رئيس مؤسسة البحث والتعليم العالي الفلاحي وألقيت خلالها محاضرة علمية حول استعمال المياه شبه المالحة في الفلاحة قدمها السيدان عبد القادر العياري (كلية العلوم بتونس) وعبد القادر حمدان (وزارة الفلاحة) وتلتها أربع ورقات عمل حول نفس الموضوع وتعلقت بالأساس على مدى تحمل النبات للملوحة وضرورة استغلال التنوع النباتي لانتخاب أنواع تتحمل درجات ملوحة قصوى وشفعت هذه الجلسة الصباحية بحوار مستفيض وتوصيات عملية.

وترأس الجلسة الثانية على استعمال المياه المالحة في الفلاحة السيد عبد القادر حمدان مدير عام الهندسة الريفية وقدمت فيها خمس ورقات عمل اهتمت بتأثير الري بهذه المياه على التربة والمائدة المائية ووجوب أخذ كل عوامل الإنتاج بالإعتبار لا تأثير الملوحة فقط.

وخصصت الجلسة الثالثة لمحاضرة ألقتها السيدة عاقصة البحري باحثة بمركز البحوث في الهندسة الريفية وتطرقت فيها للمشاكل المتأتية عن استعمال المياه المعالجة في الفلاحة، وترأس هذه الجلسة المسائية الأستاذ المكي بوخريص (كلية العلوم بصفاقس).

أما الجلسة الرابعة فترأسها الأستاذ بلقاسم الحنشي مدير عام مكلف بمهمة بكتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا عرضت فيها ثلاث ورقات عمل تحدثت عن طرق المعالجة للمياه المستعملة ومواصفاتها ونوقشت خلال هذه الجلسة الجوانب السلبية لاستعمال هذه النوعية من المياه.

أما الجلسة الأخيرة فقد كان رئيسها الأستاذ عبد القادر العيادي (كلية العلوم بتونس). عرضت فيها أربعة ورقات عمل وشريط وثائقي عن مدى تجاوب النبات للري بالمياه المستعملة وعن تغذية المائدة المائية وكانت النقاشات غنية وثرية بالتوصيات.

أشرف على اختتام هذه الأيام العلمية السيد المنجي صفره كاتب الدولة لدى الوزير الأول المكلف بالبحث العلمي والتكنولوجيا بحضور السيد والي نابل وأكد في كلمته على العناية الخاصة من لدن رئيس الدولة بمواردنا المائية وترشيد استعمالها وركز على الدعم المادي والمعنوي الذي توليه كتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا للبحوث الفلاحية عامة ولمركز البحوث في الهندسة الريفية خاصة كما بارك انعقاد

هذه الأيام العلمية حول المياه وأكد على ضرورة تكثيف مثل هذه اللقاءات حول القطاعات الإستراتيجية في التنمية الفلاحية مثل المياه وكرر استعداد كتابة الدولة لتدعيم مثل هذه اللقاءات شريطة تقديم مقترحات عملية من شأنها أن تدعم قدراتنا الفلاحية.

لقد أمكن إصدار هذه الوثيقة الخاصة بالأيام العلمية لمركز البحوث في الهندسة الريفية بالمجهود المتواصل الذي بذله الأخصائيون بالمركز وبالإمكانيات المادية التي مدتنا بها بعض الهيئات المحلية والدولية وأخص بالذكر منها كتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا والديوان القومي للتطهير والبعثة الألمانية للتعاون الدولي.

وتعتبر هذه الوثيقة استكمالا ووقفة تأمل في موضوع استعمال المياه المالحة والمعالجة في الفلاحة بما تحتويه من أبحاث ودراسات قيمة قدمها خبراء من عدة معاهد وكليات وإدارات فنية وأنه لمن الضروري مواصلة الجهد في هذا الصدد حتى نتمكن من متابعة ما يستجد من متطلبات لمزيد من التنمية.

وتقديرا منا للمجهودات المثمرة والبناءة يتقدم مركز البحوث في الهندسة الريفية بالشكر والعرفان إلى كل من ساهم في تناول هذا الموضوع وإنجاح الأيام العلمية وإصدار هذه الوثيقة من تحرير ومتابعة وطباعة.

محمد نجيب رجب

مدير مركز البحوث في الهندسة الريفية

SOMMAIRE

UTILISATION DES EAUX SALEES EN AGRICULTURE

Présidents : MM. A. CHERIF, M. A. HAMDANE
Rapporteurs : Mme M. TRAD, M. Z. CHAABOUNI

Conférence plénière

A. HAMDANE et A. AYADI : **Utilisation des eaux salées en Tunisie**

Communications

* OUARITI O. et GHORBEL. M. H. : **Effet du Nacl et de la transpiration sur l'absorption de NO_3 et sur l'activité nitrate reductase chez le haricot.** 9153

* BOUNAQBA S. et ZID E. : **Effet de la salinité sur la germination, la croissance et la nutrition minérale du triticale.** 9154

* LACHAAL M., ABDELLY C., SOLTANI A., HAJJI M. et GRIGNON C. : **Tolérance au sel de la lentille en plein champ.** 9155

* ABDELLY C., LACHAAL M., SOLTANI. A., HAJJI M. et GRIGNON C. : **Adaptation de medicago aux sols sales.** 9156

* GHARSALLI M., HAJJI M. et GRIGNON C. : **Effet de Nacl dans le milieu de culture sur l'acidification racinaire induite par la déficience en fer chez le tournesol.** 9157

* BOUTITI R. : **Utilisation des eaux salées en agriculture.** 9158

* HACHICHA M., JOB J.O. et MTIMET A. : **Application de la conductivimètrie électromagnétique au uivi de la salinisation dans les périmètres irrigués de Tunisie.** 9159

* BOUKSILA F., HACHICHA M. ET MHIRI A. : **Variabilité des propriétés des sols du prinètre de Kalaat Landelous et risques de salinisation.** 9160

* SAIED A. : **Utilisation des eaux saumâtres du sud dans l'irrigation des oasis de Gabès** 9161

* SOUISSI A. : **Pompage à partir des nappes souterraines.** 9162

* CHAABOUNI Z. : **L'utilisation des eaux saumâtres en irrigation et l'économie de l'eau.** 9163

* BOUAZIZ E. : **Comportement de quelques cultures annuelles et arbustives irriguées à l'eau saumâtre.** 9164

* ACHOURI M., REJEB M. N. et BIZID E. : **Evaluation de quelques caractéritiques physiques des capsules des grains et des fibres de quatre variétés de coton au cours de leur développement.** 9165

UTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN AGRICULTURE

Présidents : M.N. BOUKHRIS, B. HENCHI, A. AYADI
Rapporteurs : R. BOUTITI, Z. ALOUINI.

Conférence plénière

BAHRI A. : **La réutilisation des eaux usées-Quelques éléments de réflexion.** 9166

Communications

* MEZGHANI I., CHAIEB M. ET BOUKRIS M. : **Effets des eaux usées traitées sur le comportement phénologique et hydrique du cotonnier (Gossypium hirsutum L.)** 9167

* BIZID E., HAJJI M., SLAMA F. et GRIGNON C. : **Effets des eaux usées traitées sur la productivité et la nutrition de quelques plantes cultivées.** 9168

* AL ALAMI A., GHORBEL M.H., EL FERJANI E. et REJEB S. : **Réponses de la tomate aux effets de différentes doses de cadmium dans le milieu.** 9169

* REJEB S. : **Effet de l'irrigation par aspersion sur le rendement et la qualité chimique d'une culture fourragère et d'une culture industrielle.**

* ALOUINI Z. : **Efficacité relative des procèdés de traitement dans l'élimination de la charge parasitaire des eaux usées.** 9170

* GHRABI A. : **Traitement des eaux usées urbaines en vue de la réutilisation agricole.**

* REKAYA M. : **Un moyen de retarder la salinisation poussée des aquifères phréatiques.**

TRAD RAIS M. : **Impact de la recharge artificielle par les eaux usées traitées sur la qualité microbiologique des eaux de la nappe.** 9171

* ZAIRI A. et LESAVRE J. : **Epandage souterrain sous pression-Conception et évaluation d'une filière de traitement.** 9172

UTILISATION DES EAUX SALEES EN AGRICULTURE

UTILISATION DES EAUX SALEES EN TUNISIE

ABDELKADER HAMDANE ET ABDELKADER AYADI

La Tunisie, pays du pourtour de la méditerranée est soumise à un climat irrégulier et aride. Ses ressources en eau, tant par leur quantité que par leur qualité, constituent un facteur limitant de la production agricole, surtout dans les zones arides, et semi-arides où la pluviométrie reste très insuffisante. C'est pourquoi la recherche d'une meilleure productivité en milieu salé a constitué depuis longtemps un souci constant pour les instances chargées de promouvoir l'agriculture.

C'est précisément dan ce contexte que, dès le début des années 60, sous l'impulsion du Ministère de l'Agriculture, des recherches intensives ont été entreprises par des centres spécialisés (CRUESI, Centre des zones arides etc...) créés à cet effet avec l'aide d'organismes internationaux et en particulier l'UNESCO.

Cette activité de recherche, à caractère essentiellement appliqué, a porté d'une part sur l'évolution qualitative des sols sous l'effet de la salinité et, d'autre part, sur le comportement de plusieurs espèces irriguées avec des eaux plus ou moins salées. Plus précisément on s'attachait à étudier les rendements agricoles de ces espèces en relation avec la salinité de l'eau, la salinité du sol et selon divers régimes d'irrigation (quantité d'eau apportée, rythme d'approvisionnement etc...).

Cette stratégie de recherche initiée par le CRUESI et relayée ensuite par le CRGR dès les années 70, a permis de réaliser des progrès importants dans les approches du problème de l'utilisation des eaux salées en irrigation. Une classification des plantes en relation avec la salinité des eaux et même en fonction de la salure des sols a été proposée.

Sur le plan fondamental des équipes universitaires souvent en collaboration avec les agronomes, commençaient à se pencher sur l'étude des mécanismes de la tolérance à la salinité.

Du point de vue des techniques culturales pratiquées dans le pays, il convient de rappeler que jusqu'à la fin des années 60, l'irrigation par les eaux saumâtres ou salées était réalisée de façon traditionnelle, à l'exception de quelques stations pilotes d'expérimentation créées à partir des eaux de la Medjerda. Ce n'est qu'à partir des années 70 qu'une véritable politique d'aménagements hydrauliques a été mise en oeuvre et concrétisée par la réalisation de barrages et de forages profonds.

Cette politique d'aménagement est dictée par la nécessité de faire face aux insuffisantes des précipitations et à leur irrégularité dans le temps et dans l'espace.

Parallèlement à ce qui est entrepris par l'Etat, à l'échelle régionale et nationale, en matière de mobilisation des eaux, une contribution de type traditionnel est réalisée par les petits agriculteurs et paysans. La mobilisation des ressources en eau a alors rapidement augmenté pour atteindre actuellement le niveau de 65%, sans compter l'apport provenant des stations d'épuration ($100\text{-}10^6$ m^3/an). Ainsi, parmi les pays du Maghreb, la Tunisie est sans doute le pays dont la mobilisation des ressources en eau est la plus importante.

Actuellement, sur environ 300.000 ha aménagés pour l'irrigation, 250.000 sont effectivement irrigués et fournissent pratiquement le tiers de la production agricole du pays. Au total 30 - 40%

des superficies sont irriguées à partir des grands ouvrages, le reste étant assuré à partir de puits de surface. Tout ceci a permis de diversifier les cultures et de les adapter plus ou moins aux conditions locales.

Ceci étant dit, même si l'agriculture bénéficie de 80% des ressources en eau, il n'en reste pas moins vrai que l'optimisation et la rationalisation de leur utilisation restent insuffisantes. On constate en effet que la tendance naturelle des agriculteurs est de pratiquer l'irrigation traditionnelle, ce qui peut être à l'origine d'une surexploitation des ressources et d'une salinisation progressive des sols dont la conséquence immédiate est une diminution des rendements sur le plan agronomique. Certes des systèmes permettant de limiter les effets nocifs du sel ont toutefois été mis au point dans le cadre de la recherche agronomique. Il s'agit en particulier des techniques de drainage et de lessivage couramment utilisées dans les périmètres irrigués.

Plus récemment de nouvelles techniques d'irrigation ont été conçues et introduites dans le pays : ce sont essentiellement la technique du goutte à goutte et celle de l'aspersion.

Ainsi, tant sur le plan de la mobilisation des ressources en eau que sur celui des techniques utilisées en irrigation, il faut bien reconnaître que beaucoup d'efforts ont été consentis.

Dans beaucoup de cas, le facteur limitant se situe moins au niveau de la disponibilité de l'eau qu'au niveau de l'efficacité des techniques utilisées. Si les rendements en périmètres irrigués sont parfois en dessous de ce qui est raisonnablement attendu c'est que certains paramètres n'ont peut être pas été pris suffisamment en considération comme par exemple l'évolution des propriétés du sol sous l'effet de la salinité.

Beaucoup de travaux tant dans les institutions agronomiques qu'à l'Université ont été réalisés dans diverses conditions expérimentales de salinité et sur diverses espèces végétales. Quelle que puisse être leur valeur scientifique, ils ne permettent guère une transposition en champ où la situation est difficilement contrôlable en raison de la complexité du système sol-plante et des multiples interactions qui s'y produisent.

Il est donc nécessaire de parvenir, grâce à une évaluation périodique et à un suivi, à adapter quantitativement et qualitativement l'irrigation aux exigences du sol et de la plante, considérés comme un tout. Il ne suffit pas d'irriguer mais de bien irriguer, c'est l'un des axes à développer et c'est précisément dans cette optique qu'il importe de conduire l'expérimentation.

C'est donc avant tout un problème qui relève de la Recherche - Développement qui implique, dans le cas précis, une stratégie globale, des approches intégrées permettant de prendre en compte la relation complexe sol-production végétale qui conditionne une bonne gestion des ressources en eaux salées.

De même, l'étude de potentialités génétiques des plantes en vue d'en sélectionner celles économiquement rentables dans un environnement donné est à promouvoir. Les voies de la Biologie Moléculaire et du Génie-Génétique devront être également exploitées.

CNDA 9153

EFFETS DU NaCI ET DE LA TRANSPIRATION SUR L'ABSORPTION DE NO_3 ET SUR L'ACTIVITE NITRATE REDUCTASE CHEZ LE HARICOT

OUARITI. O & GHORBAL. M.H

Laboratoire de Physiologie Végétale "Nutrition et Métabolisme Azotés", Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1060, - Tunis

RESUME

Dans le but de comprendre les effets directs de NaCI sur les systèmes de transport et de réduction de NO_3-, des plantules de haricot (Phaseolus vulgaris L. cv Gabriella) ont été cultivées pendant 19 jours sur un milieu nutritif complet contenant 1 mM de NO_3-, puis ont été transférées pendant 2 jours sur le même milieu sauf qu'il est dépourvu d'azote. Au terme de la culture, les plantes ont été utilisées pour examiner l'effet de NaCI et de la transpiration aussi bien sur la cinétique d'absorption de NO_3- que sur celle de l'activité nitrate réductase. Les résultats obtenus montrent que l'application de NaCI au cours de la phase d'induction du système de transport de NO3- conduit à un ralentissement de l'intensité du processus d'absorption de ce dernier, cette réponse étant fonction de la concentration de NaCI dans le milieu. Parallèlement, l'absorption de l'eau est aussi affectée par le sel et l'effet est de nouveau fonction de la dose de ce dernier. La réduction de l'activité transpiratoire des plantes, permet d'obtenir des résultats analogues à ceux observés dans le cas du traitement par le sel. La mesure de l'activité nitrate réductase foliaire en fonction du temps, révèle qu'elle est beaucoup plus sensible à la diminuation du flux transpiratoire qu'à l'application de NaCI dans la solution nutritive. Les résultats auxquels nous sommes parvenus nous permettent de dire qu'au moins une partie de l'absorption de NO3- est sous la dépendance directe du flux hydrique. Ceci laisse suggérer que l'inhibition de l'absoption de NO3- ainsi que celle de l'activité nitrate réductase par NaCI sont, au moins partiellement, reliées à une restriction de l'absoption de l'eau.

INTRODUCTION

L'azote est un élément essentiel dans la nutrition des végétaux et constitue l'un des principaux facteurs limitants de la production agricole. Cet élément est prélevé à partir de la solution du sol essentiellement sous sa forme oxydée (c'est à dire nitrique). Au cours des dernières décades, l'agriculture en irrigué dans le monde entier a augmenté approximativement de 300% (RANGLEY, 1986) et l'expansion rapide de l'irrigation des cultures est largement combinée à l'utilisation d'eaux plus ou moins chargées de sel, ce qui conduit le plus souvent à une diminution de la croissance et de la productivité des plantes cultivées, principalement due au stress salin. Cette baisse de croissance est généralement accompagnée d'une diminution de l'accumulation de l'azote dans les tissus. Afin de préciser les raisons de ce comportement, il nous a paru intéressant d'examiner, dans cette étude, les effets de NaCL sur les processus d'absoption et de réduction du nitrate chez des plantules de haricot non préstressées par le sel et ceci pendant une période relativement courte, de façon à minimiser au maximum les effets indirects des activités pouvant affecter la croissance globale de la plante.

MATERIEL ET METHODES

Des plantules de haricot (*Phaseolus vulgaris* L. cv Gabriella) sont cultivées pendant 19 jours sur milieu nutritif liquide constitué ainsi : KNO_3 0,5mM, $Ca(NO_3)_2$ 0,25mM, KH_2PO_4 0,5mM, $MgSO_4$ 0,25mM, du fer et des oligoléments sont ajoutés aux solutions nutritives. Deux jours avant l'expérimentation les plantes sont placées sur le même milieu de culture sauf qu'il est déficient en NO_3- les cultures sont conduites en salle conditionnée où l'éclairement est assuré par des lampes à mercure, à raison de 150 $uM.m^{-2}.s^{-1}$ au niveau des plantules, avec une photopériode de 16 heures, une température de 18 à 25°C et une humidité relative de 70% pendant le jour et de 90% durant la nuit.

L'absorption du nitrate a été suivie en milieux renouvelés et a été mesurée à partir de la disparition des quantités de nitrate dans la solution externe, contenant initialement 2mM de NO_3-, en présence ou en l'absence de NaCl 1g/l (16mM) ou 3g/l (50mM). Le nitrate contenu dans les solutions externes est dosé par colorimètrie à l'aide d'une chaîne automatique.

L'absorption de l'eau est déterminée à l'aide de la formule suivante : A = Pi - (Pf + E), où A est l'absorption de l'eau. Pi, le poids de l'ensemble plante-pot-solution, au temps zéro. Pf, le poids du même ensemble à la fin d'un intervalle de temps donné. E est l'évaporation, mesurée sur des pots témoins sans plantes placés dans les mêmes conditions.

L'induction de l'activité nitrate réductase (ANR) foliaire a été conduite en mesurant les variations de l'activité enzymatique en fonction du temps, à partir de la mise en contact des racines de plantes intactes avec le nitrate de la solution externe. L'ANR est mesurée par la méthode "in vitro" décrite par Robin (1983).

Dans certaines expériences, la diminution de la transpiration a été assurée par l'utilisation de sacs en plastiques transparent placés sur l'ensemble du feuillage de la plante et ficelés au niveau de la base des tiges de façon à minimiser au maximum les pertes de vapeur d'eau vers l'extérieur des sacs.

RESULTATS

Les résultats relatifs aux effets de NaCl sur l'absorption de NO3 sont illustrés par les figures 1, 2, 3 et 4 . La figure 1 traduit l'évolution de l'absorption nette du nitrate en fonction du temps, en l'abscence (Témoin : T) ou en présence de NaCl à deux concentrations : 1g/l (T+1) et 3g/1 (T+3) . On peut remarquer la sensibilité de cette absorption à l'égard de NaCl, cette sensibilité étant fonction de la concentration de ce dernier dans la solution externe . Toutefois, d'après nos résultats illustés par la figure 1, la sensibilité de l'absorption du nitrate ne se manifeste qu'au delà des quatre premières heures qui suivent la mise en absorption . La figure 2 représente l'évolution des influx nets de NO3 en fonction du temps . Elle montre que pour la période comprise entre 12H et 36H, ces influx sont réduits de 15 à 20% par rapport aux témoins pour le traitement T+1 et de 40 à 45% pour le traitement T+3 .

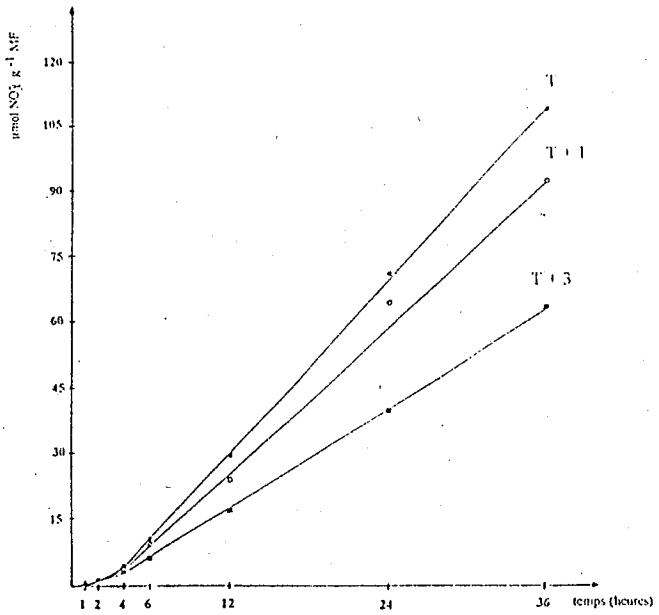


Fig-1 : Absorption nette cumulée de NO_3^- en fonction du temps.
T : Milieu témoin sans sel . T+1 : Milieu témoin + 1g/l NaCl .
T+3 : Milieu témoin + 3g/l NaCl .

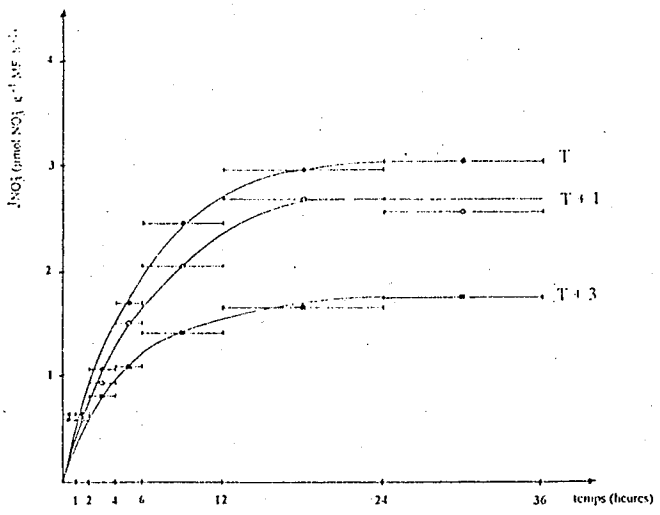


Fig-2 : Variation de l'influx net de NO3- en fonction du temps.
T : Milieu témoin sans sel . T+1 : Milieu témoin+1g/l NaCl .
T+3 : Milieu témoin+3g/l NaCl .

La restriction de l'absorption du nitrate en présence de sel signalée précédemment, peut être soit le résultat direct d'un effet propre du NaCl sur cette absorption, soit le résultat d'une action indirecte de ce sel, par exemple à travers une restriction de l'absorption de l'eau par la plante. Pour essayer d'apporter une réponse à cette question nous avons suivi, parallèlement à l'absorption du nitrate, la consommation d'eau par le même matériel végétal. La figure 3 illustre les résultats obtenus. Elle permet de voir que durant la période allant de 6H à 36H, l'influx net d'eau est diminué d'environ 10% sur le milieu T+1 et 30% sur le milieu T+3 par rapport au milieu témoin.

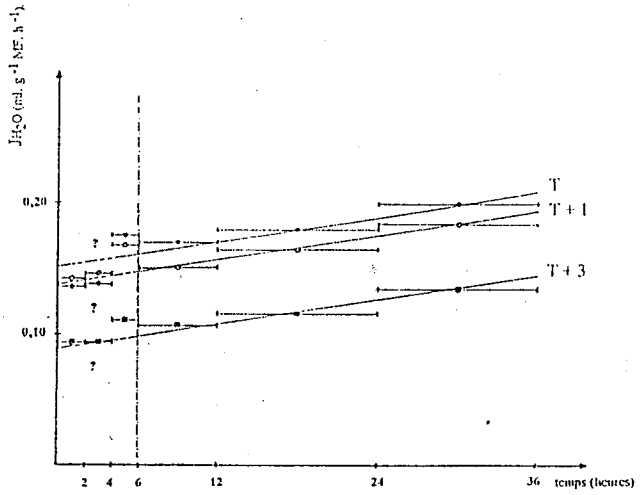


Fig-3 : Variation de l'influx net d'eau en fonction du temps.
T : Milieu témoin sans sel . T+1 : Milieu témoin + 1g/l NaCl .
T+3 : Milieu témoi + 3g/l NaCl .

La figure 4 correspond aux variations du rapport des influx nets nitrique et hydrique pour les trois types de traitement. Dans les trois cas, l'évolution est sensiblement la même.

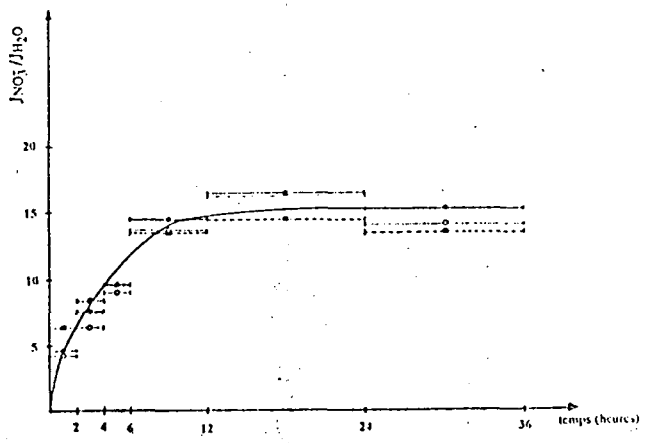


Fig-4 : Variation du rapport des influx nets de NO_3^- et d'eau en fonction du temps .
T ; T+1 ; T+3 .

Ces résultats suggèrent que l'un des effets possibles du sel sur l'absorption du nitrate peut avoir lieu à travers une restriction dans l'approvisionnement de la plante en eau. Dans la mesure où nous pouvons supposer, comme c'est dans le cas de nos expériences, que pour une période de temps relativement courte, la quasi-totalité de l'eau absorbée par le système racinaire est destinée à être transpirée au niveau de la partie aérienne, ou ces mêmes résultats peuvent être interprétés en supposant que les inhibitions de l'absorption du nitrate obtenues en présence de sel peuvent être dues à des effets similaires au niveau de l'activité transpiratoire, ce qui revient au même, au niveau du flux hydrique dans la sève xylémique . Ceci suggère notamment qu'on pourrait obtenir des résultats analogues à ceux figurant dans le précédent paragraphe, si au lieu d'imposer une restriction dans l'absorption de l'eau au niveau du système racinaire, on réduit par un moyen ou un autre l'activité transpiratoire . C'est ce que nous avons voulu vérifier par l'expérience suivante où, pour certaines plantes, le système aérien a été enfermé dans des sachets en plastique transparent (plantes de type B), alors que pour d'autre il a été maintenu dans des conditions normales (plantes de type A) .

Les résultats obtenus sont illustrés par les figures 5 et 6 pour l'absorption de NO3- et la figure 7 pour l'absorption nette de l'eau . La figure 8 nous permet de voir que les rapports d'influx nets nitrique et hydrique varient au cours de cette expérience de façon similaire à celle observée dans le cas du traitement par le sel (figure 4).

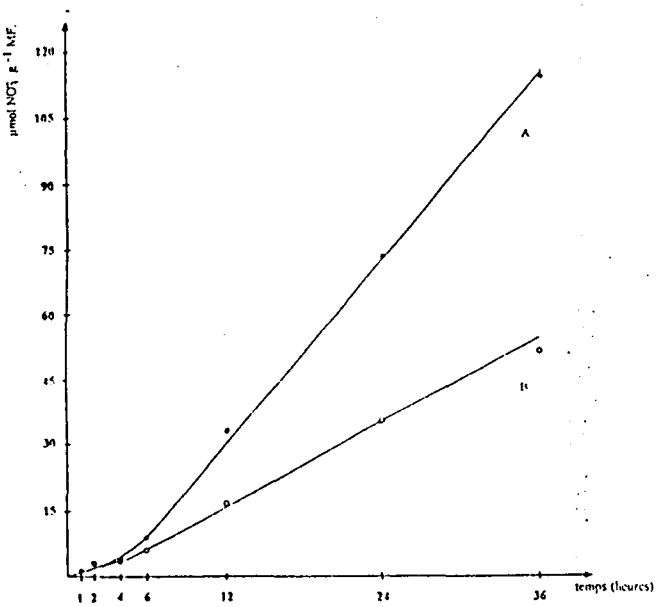


Fig-5 : Absorption nette cumulée de NO_3^- en fonction du temps .
A : Plantes témoins . B : Plantes à activité transpiratoire réduite .

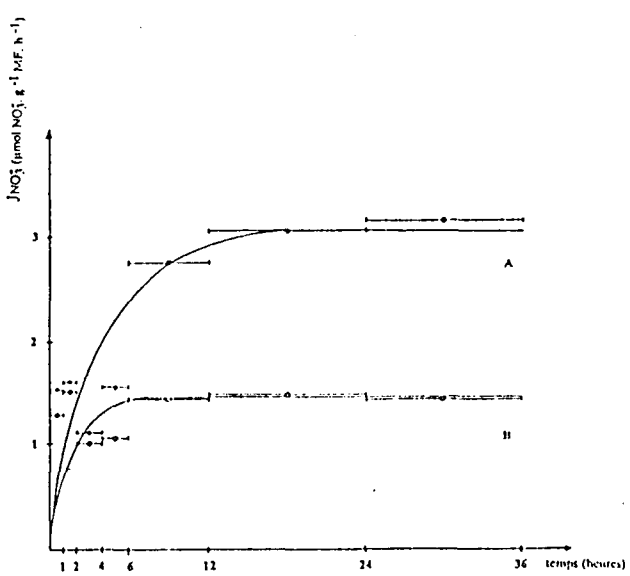


Fig-6 : Variation de l'influx net de NO_3^- en fonction du temps .
A : Plantes témoins . B : Plantes à activité transpiratoire réduite .

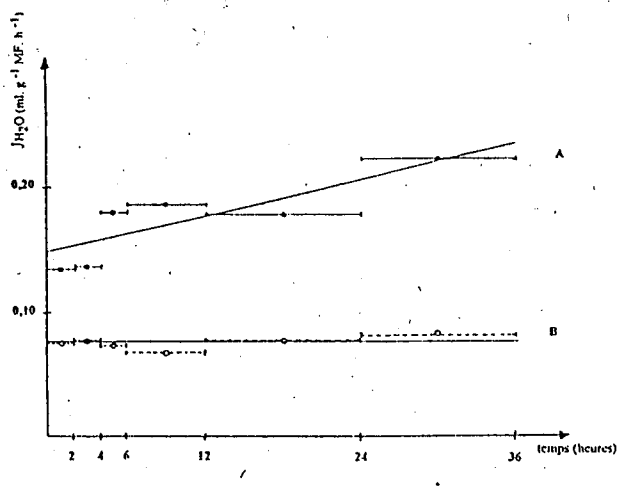


Fig-7 : Variation de l'influx net d'eau en fonction du temps .
A : Plantes témoins . B : Plantes à activité transpiratoire réduite .

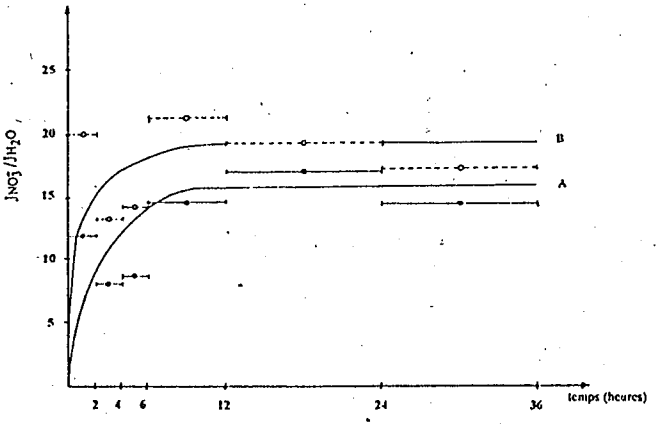


Fig-8 : Variation du rapport des influx nets de NO_3^- et d'eau en fonction du temps .
A : Plantes témoins ——●——
B : Plantes à activité transpiratoire réduite – – –○– – –

Les résultats relatifs aux effets de NaCl et de la transpiration sur l'activité nitrate réductase foliaire sont représentés dans la figure 9 . Cette dernière montre que l'ANR foliaire est beaucoup plus sensible à la diminution directe de l'intensité transpiratoire, obtenue par abaissement du gradient de pression de vapeur d'eau au niveau de la partie aérienne, qu'à l'application d'une contrainte osmotique au niveau du système absorbant .

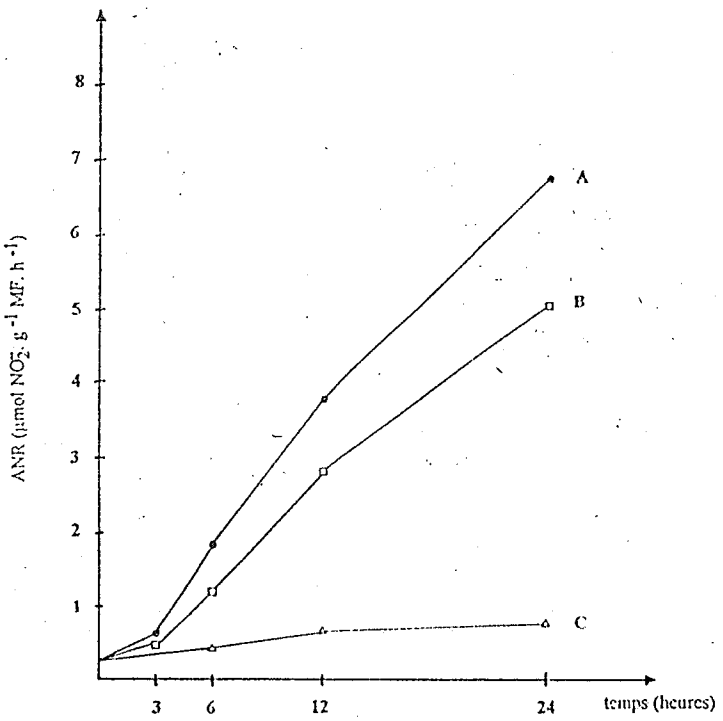


Fig-9 : ANR foliaire des plantes intactes, mesurée par la méthode "in vitro" .
A : Milieu témoin . B : Milieu témoin + 3g/l NaCl . C : Plantes à activité transpiratoire réduite .

DISCUSSION

Certaines des expériences décrites dans ce travail nous ont permis de montrer que l'application du chlorure de sodium au cours de la phase d'induction du système de transport du nitrate conduit à un ralentissement de l'intensité du processus d'absorption de ce dernier . Des résultats aboutissant au même type de situation ont été obtenus par d'autres auteurs sur d'autres types de matériel biologique et dans des conditions expérimentales totalement différentes des nôtres (ASLAM et al .; 1984 ; PESSARAKLI, 1991) . Ce type de résultats peut être interprété à l'aide de concepts classiques comme les interactions ioniques (NO3- /Cl-) ou les difficultés d'ordre osmotiques, avec leurs répercussions sur l'alimentation hydrique. Parmi les effets possibles figure aussi l'action directe du sel sur la synthèse et/ou le fonctionnement du système de transport du nitrate, localisé au niveau du plasmalemme des cellules corticales de la racine, du fait que le sel affecte la synthèse protéique et que cette dernière est nécessaire à l'induction du transporteur du nitrate (KLOBUS et al.; 1988) . Nos résultats nous ont montré aussi que l'addition subite de NaCl au milieu d'absorption restreint l'alimentation hydrique . Ceci signifie aussi qu'il limite l'activité transpiratoire . Que cette restriction soit obtenue par variation du potentiel osmotique au niveau du système absorbant ou par abaissement du gradient de potentiel hydrique au niveau du système transpirant, la conséquence est que l'intensité du prélèvement de NO3- se trouve réduite, mais d'une façon différente selon le type de perturbation imposé à la plante ; Cette restriction dans l'approvisionnement de la plante en nitrate conduit à son tour à une limitation dans l'induction de la nitrate réductase foliaire . Comme le niveau d'activité de cette dernière est fortement corrélé avec le flux de nitrate ascendant (LARSSON et al., 1989), ceci suggère que dans le cas des deux types de traitement l'exportation du nitrate par le courant xylémique se trouve ramenée à un niveau très faible, insuffisant pour induire une forte activité nitrate réductase foliaire. D'autre part, les résultats auxquels nous sommes parvenus nous permettent de dire qu'au moins une partie de l'absorption du nitrate est sous la dépendance directe du flux hydrique. Ce point est attesté en particulier par le fait qu'au delà des quelques premières heures qui suivent la mise en absorption, le rapport des flux JNO3-JH2O devient à peu près constant, aussi bien dans les expériences conduites sur les plantes traitées par NaCl que dans les expériences où le feux transpiratoire a été réduit chez les plantes dont la partie aérienne a été enfermée dans des sachets en plastique transparent . L'ensemble de ces résultats laisse suggérer que l'inhibition de l'absorption de NO3- ainsi que celle de l'activité nitrate réductase par NaCl sont, au moins partiellement, reliées à une restriction de l'absorption de l'eau

Quoiqu'il en soit, les résultats obtenus dans ce travail indiquent que la salinisation du milieu de culture constitue l'un des facteurs susceptible de perturber le prélèvement et la réduction du nitrate, ce qui peut se traduire par une altération de la nutrition azotée dont dépend énormement la croissance et la productivité des plantes cultivées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASLAM. M, HUFFAKER. RC & RAINS. DW (1984) Early effects of salinity on nitrate assimilation in barley seedlings . Plant Physiol. 76 : 321-325 .

KLOBUS. G, WARD. MR & HUFFAKER. RC (1988) Characteristics of injury and recovery of net NO3- transport of barley seedlings from treatments of NaCl. Plant Physiol. 87 : 878-882 .

LARSSON. M, LARSSON. CM, WITFORD. PN & CLARKSON. DT (1989) Influence of osmotic stress on nitrate reductase activity in wheat (Triticum aestivum L.) and the role of abscisic acid. J.Exp.Bot. 40 (220) : 1265-1271 .

PESSARAKLI. M (1991) Dry matter yield, Nitrogen-15 absorption, and water uptake by green bean under sodium choride stress . Crop Sci. 31 : 1633-1640 .

RANGLEY. WR (1986) Scientific abvances most needed for progtess in irrigation . Phil. Trans R. Soc. Lond. A, 316 : 355-368 .

ROBIN. P (1979) Etude de quelques conditions d'extraction de la nitrate réductase des racines et des feuilles de plantules de maïs. Physiol. Vég. 17 : 45-54 .

EFFET DE LA SALINITE SUR LA GERMINATION, LA CROISSANCE ET LA NUTRITION MINERALE DU TRITICALE

(X, Triticosecale Wittmack)

BOUNAQBA S. ET ZID E.

Laboratoire de Physiologie et Ecophysiologie Végétales, Faculté des Sciences de Tunis

RESUME :

La Germination, la croissance et la nutrition minérale de deux variétés de triticale (hybride blé x seigle) sont étudiées, en conditions contrôlées de laboratoire, sur des solutions à différentes concentrations de NaCl. La cinétique de germination est examinée à 25°C et mise en relation avec la croissance ultérieure des plantules et leur nutrition minérale, pendant les 4 semaines qui suivent l'imbibition. Les cultures sont conduites en milieu liquide aéré, sous éclairement artificiel (photopériode : 16 h, 20 $W.m^{-2}$, humidité relative : 56 à 90%, température comprise entre 18 et 21°C le jour et 12 à 16°C la nuit). A la récolte, la croissance des plantules est estimée par la production de biomasse des racines et des parties aériennes. L'hydratation des plantules et leurs caractéristiques ioniques sont également déterminées.

Les résultats obtenus montrent que les deux variétés de triticale ont des cinétiques et des capacités de germination comparables en absence de NaCl, mais différentes en sa présence. En absence de sel, 7 à 8 h sont nécessaires pour l'émergence de la radicule, et le temps moyen de germination (correspondant à la germination de 50% du lot de grains) est de 11 à 13 h sur sel, la variété 112 germe plus rapidement que la variété 113 et son pouvoir germinatif est peu affecté. La comparaison des courbes de germination de grains imbibés dans l'eau distillée pendant 1 ou 3 h, puis transférés sur une solution de Nacl 0,2 M, montre que la vitesse et la capacité de germination sont nettement diminuées chez la variété 112, alors qu'elles sont augmentées chez la variété 113. Cela suggère l'existance d'une fenêtre de sensibilité (cas de la variété 112) ou d'accoutumance (cas de la variété 113) à NaCl qui se manifeste pendant les premières heures de l'imbibition du grain.

Après 4 semaines de culture sur milieu témoin sans NaCl, la variété 112 produit moins de biomasse que la variété 113. La présence de NaCl dans le milieu de culture ramène la croissance des deux variétés au même niveau. La variété 112 apparaît ainsi plus tolérante à la salinité que la variété 113. Aucun des paramètres ioniques mesurés (sélectivité K^+/Na^+ en particulier) ne permet de distinguer les deux variétés.

La conclusion qui se dégage de cette étude est que, chez le triticale, la réponse au sel au stade de la germination semble refléter correctement la tolérence relative au sel des deux variétés pendant les premières semaines de leur développement. Il serait intéressant de vérifier la validité de ce test précoce sur des plantes adultes en plein champ.

Mots Clés : triticale, salinité, germination, croissance, nutrition.

INTRODUCTION

La salinité des sols et de l'eau d'irrigation est une contrainte majeure qui limite la productivité de près du tiers des terres irriguées de la planète, ce qui correspond à 40 millions d'hectares (Norlyn et Epstein 1984). Dans le Maghreb et au Moyen Orient, 15 millions d'hectares sont affectés par le sel (Le Houérou 1986). Même dans les sols non salés, l'irrigation avec des

eaux saumâtres conduit à une salinisation progressive qui finit par rendre ces sols impropres aux cultures conventionnelles (Boyer 1982). La valorisation de ces eaux en agriculture se heurte à plusieurs difficultés, et en particulier au dégré de tolérance au sel des espèces cultivées, qui sont pour la plupart des glycophytes sensibles (Maas 1986). Cette situation découle du jeu de la sélection agronomique, qui a toujours visé l'obtention de génotypes à très hauts rendements, dans des conditions d'environnement non stressantes. Ceci a probablement entraîné l'exclusion progressive des gènes responsables de la tolérance à la salinité (Mudie 1974; Maas et Nieman 1978).

De nombreux facteurs climatiques (température, humidité, pollution de l'air) et édaphiques (structure, texture et fertilité du sol) sont en interaction avec la salinité et peuvent influencer la réponse de la plante au sel. Par ailleurs, chez certaines espèces, le degré de résistance au sel varie avec le stade de développement (Norlyn et Epstein 1984; Tal 1985). Mais, d'une manière générale, la germination, l'installation de la plantule et la mise en place des organes reproducteurs, constituent des étapes particulièrement sensibles à la salinité. Cette constatation est essentielle pour la gestion des eaux salées en irrigation (Hamdy et Laricignola 1988).

L'utilisation de pratiques culturales appropriées permet souvent de limiter les effets néfastes du sel et d'améliorer les rendements. Mais cette solution nécessite des investissements importants, surtout quand il s'agit de mettre en place des réseaux de drainage. Une autre alternative consiste à exploiter la variabilité naturelle pour sélectionner des espèces ou des variétés tolérantes à la salinité. Cette sélection suppose un tri à très grande échelle, difficile à appliquer directement au champ sur toute la durée de la culture. C'est la raison pour laquelle des tests simples et rapides doivent être mis au point pour détecter les meilleurs génotypes, avant les essais de rendement en plein champ (Zid et Grignon 1991).

Dans ce travail, nous présentons une étude comparative de la tolérance à NaCl de deux variétés de triticale sur la base de critères physiologiques simples appliqués à la germination, à la croissance et à la nutrition des plantules pendant les premiers stades de leur développement.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal

Les semences de triticale proviennent de la station expérimentale de l'I.N.R.A.T de Béja (campagne 1988-1989). Le triticale est une céréale hybride entre le blé et le seigle. cette culture, nouvellement introduite en Tunisie, donne un rendement analogue à celui du blé (Bernard 1992). Elle est connue pour sa souplesse adaptative aux conditions difficiles du milieu, et en particulier la sécheresse et l'acidité des sols. Mais sa tolérance à la salinité est relativement peu étudiée (Bizid et al. 1988; Salim 1988).

Conditions de germination

La germination a lieu, à température constante (25°C ± 1°C), dans des boites de Pétri de 14 cm de diamètre, sur du papier filtre imbibé d'eau distillée ou de solutions de NaCl à différentes concentrations (0,1 à 0,3 M). Elle est repérée par l'apparition d'une coléorhize visible à l'oeil nu, juste avant la percée des téguments par la radicule.

Conditions de culture et dosages

Les plantules de 3 jours sont transférées sur des milieux liquides aérés , sous éclairement artificiel (photopériode : 16 h , 20 w.m-2; humidité relative : 56 à 90 % ; température comprise entre 18 et 21° C le jour , et 12 à 16° C la nuit) . Après 4 semaines , elles sont séparées en racines et en parties aériennes . Ces organes sont pesés , puis séchés à 80° C pendant 48 h . Après extraction dans HNO_3 0,1N, les ions k^+ et Na^+ sont dosés par spectrophotométrie de flamme en émission.

RESULTATS ET DISCUSSION

Etude cinétique de la germination

L'effet de différentes concentrations de NaCl (0 à 0,3M) sur la cinétique de germination des deux variétés de triticale à 25° C est illustré par la figure 1. Les courbes de germination obtenues présentent en général une allure sigmoïde que l'on peut subdiviser en trois phases:

-une phase de latence, d'une durée de 7 à 8 h sur H_2O, au cours de laquelle on n'observe pas encore de germination.

-une phase grossièrement linéaire, où l'on assiste à une augmentation rapide du taux de germination,

- un palier correspondant au pourcentage final de germination (capacité de germination).

La vitesse de germination est définie par le temps nécessaire à l'application de 50% de germination. Ce paramètre intègre le temps de latence.

La figure 1 montre que la capacité de germination des deux variétés est élevée en absence de sel (98 à 100%). Sur sel, la variété 112 germe rapidement et sa capacité de germination est peu affectée. Pour la variété 113, la germination est plus lente, et le taux de germination, observé après 30 h d'imbibition, est fortement déprimé par le sel.

L'inhibition de la germination par NaCl est probablement d'origine osmotique. En effet, sur sel, l'embryon devient incapable d'absorber les quantités d'eau suffisantes au déclenchement des processus métaboliques (Bliss et Al. 1986). De plus, l'augmentation de la concentration de NaCl dans le milieu peut entraîner des phénomènes d'intoxication, suite à une accumulation excessive de NaCl.

Phases de sensibilité à NaCl

Les grains sont mis à germer dans une solution de NaCl 0,2 M soit directement, soit après une période d'imbibition de durée variable (1 h, 3 h ou 7 h) dans l'eau pure.

La figure 2 montre que, chez la variété 112, les grains préalablement imbibés en présence de H_2O pendant 1 ou 3 h, puis transférés sur sel germent plus lentement que les grains mis à germer directement sur sel. Cet effet inhibiteur ne s'observe pas chez la variété 113, qui manifeste au contraire, une légère stimulation de la germination. L'application de sel après 7 h d'imbibition dans l'eau n'entraîne pas de modification dans les cinétiques de germination.

Ce comportement suggère l'existence d'une phase de sensibilité chez la variété à germination rapide (112), ou d'endurcissement chez la variété à germination plus lente (113).

L'existence d'un tel phénomène, qu'on observe pour la première fois, montre que le moment d'application du sel pendant la phase d'imbibition conditionne la vitesse de germination.

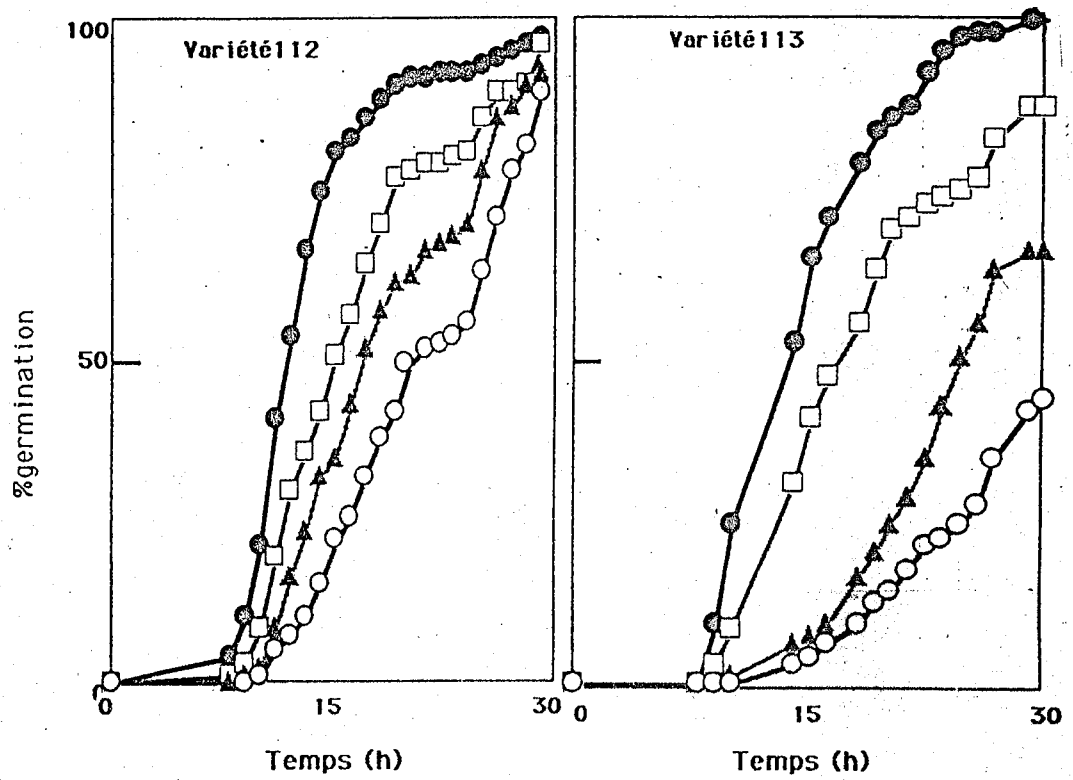


Figure 1 : Cintétique de germination de deux variétés de triticale (112 et 113) sur différentes concentrations de NaCl : H20 : —●— 0,1 M — □- 0,2 M —▲— et 0,3 M : —○— Température de germination : 25° C± 1° C.

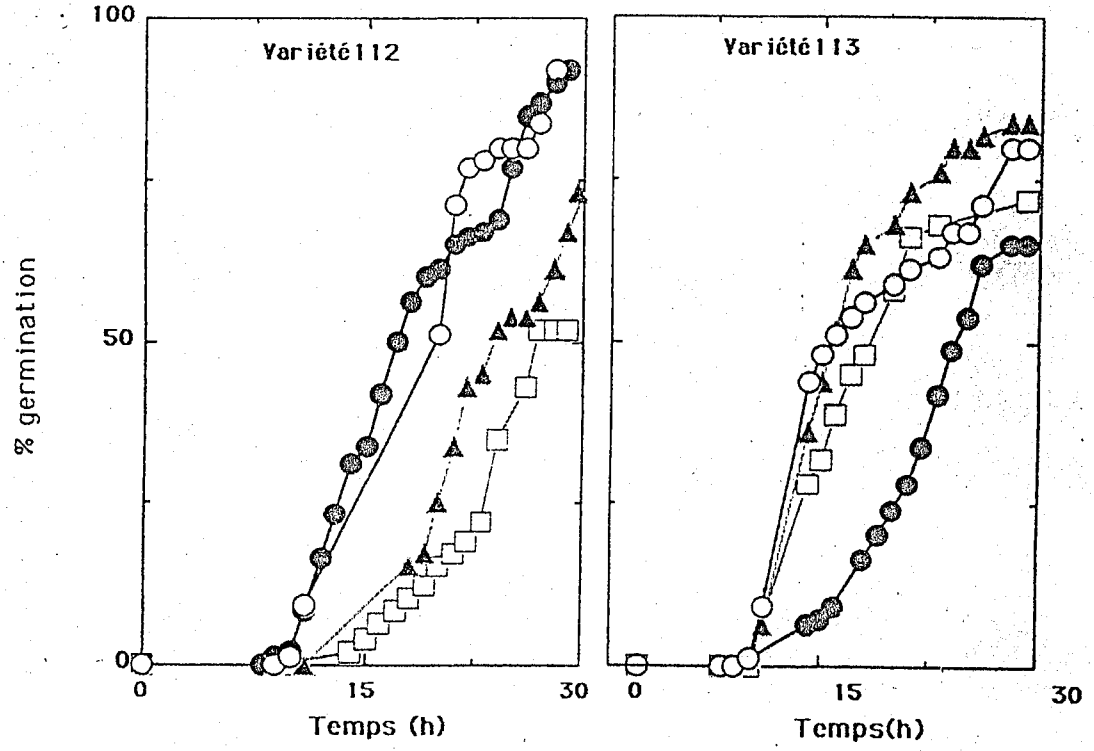


Figure 2 : Effet de NaCl 0,2 M sur la germination de grains de triticale (112 et 113) à 25°C. Les grains sont soit directement imbibés sur sel —●— soit préalablement imbibés sur eau distillée pendant 1 h —○— , 3 h —▲— ou 7 h —○— puis transférés sur NaCl.

Tolérance à NaCI des plantules

La figure 3 montre l'effet de NaCI sur la croissance des plantules après 4 semaines de culture. En absence de sel, la variété 112 produit deux fois moins de biomasse que la variété 113. Par contre, lorsque NaCI est additionné au milieu, les deux variétés présentent sensiblement la même production de biomasse. Cela montre bien qu'en absence de toute contrainte saline, les potentialités de production de biomasse pendant la phase exponentielle de croissance sont différentes chez les deux variétés. La présence de NaCI (0,1 ou 0,2M) dans le milieu ramène la variété 113 à un niveau de croissance proche de celui de la variété 112.

La variété 112, qui a une faible croissance sur milieu témoin, est peu affectée par NaCI (réduction de 13% sur NaCI 0,1 M, et de 48 % sur NaCI 0,2M). La variété 113, qui manifeste une croissance plus rapide sur milieu témoin, voit sa production de matière sèche réduite de 54 % sur NaCI 0,1 M et de 73 % sur NaCI 0,2M. On peut donc sur la base de la croissance relative (croissance sur sel/croissance en absence de sel) considérer que la variété 112 est plus tolérante au sel que la variété 113.

Nous avons vu que les deux variétés de triticales se distinguent nettement par leur aptitude à la germination et à la croissance pendant les premières semaines de croissance végétative. La variété 112 est apparue comme étant une variété à germination rapide, mais à croissance lente et peu sensible au sel. Au contraire, la variété 113 est caractérisée par une germination lente, une croissance rapide mais fortement affectée par la salinité. Il semble donc qu'il existe une relation positive entre la vitesse de germination et l'aptitude de la plantule à tolérer la salinité pendant les premiers phases de la croissance. Si cette observation se confirme sur un plus grand nombre de variétés, l'aptitude à la germination pourrait servir de test très précoce de tolérance à la salinité chez le triticale. Par ailleurs, c'est la variété à croissance rapide en absence de stress salin, qui est la plus sensible au sel. Ce comportement est un trait écophysiologique bien connu (Grime 1977). Il attire l'attention sur le fait, qu'en matière de sélection pour la tolérence au sel, ce sont les génotypes à croissance lente, et non les génotypes à croissance rapide qui doivent être recherchés.

Nutrition minérale des plantes

Les figures 4 et 5 montrent qu'en absence de sel, les teneurs en potassium et en sodium aussi bien des racines que des parties aériennes sont du même ordre de grandeur chez les deux variétés. L'addition de NaCI 0,2M entraîne une diminuation de la teneur en potassium très importante dans les racines (70% par rapport au témoin), mais beaucoup moins marquée au niveau des parties aériennes (30 % du témoin). A l'inverse, la teneur en sodium augmente très fortement dans les tissus racinaires. Cette augmentation est plus modérée dans les tissus foliaires. La diminuation des teneurs du potassium dans la plante, suite à l'addition de NaCI, est dûe à une difficulté d'alimentation en K^+, et à un ralentissement de son transport dans les parties aériennes.

La fraction équivalentaire K/(Na+K) est utilisée pour déterminer la sélectivité des transports (absorption totale, accumulation racinaire, et transport dans les parties aériennes). Elle est calculée à partir des quantités nettes absorbées en 4 semaines de culture.

La figure 6 montre que, sur NaCI, les deux variétés de triticale présentent une faible sélectivité de l'accumulation racinaire en faveur de K^+, traduisant la prédominance de Na^+sur K^+. Par contre, ces deux variétés conservent une bonne sélectivité de l'exportation en faveur du potassium, même sur NaCI 0,2 M, ce qui témoigne de leur aptitude à limiter le transport de Na^+ dans leurs parties aériennes. Ce caractère est commun chez les Triticées (Gorham 1990).

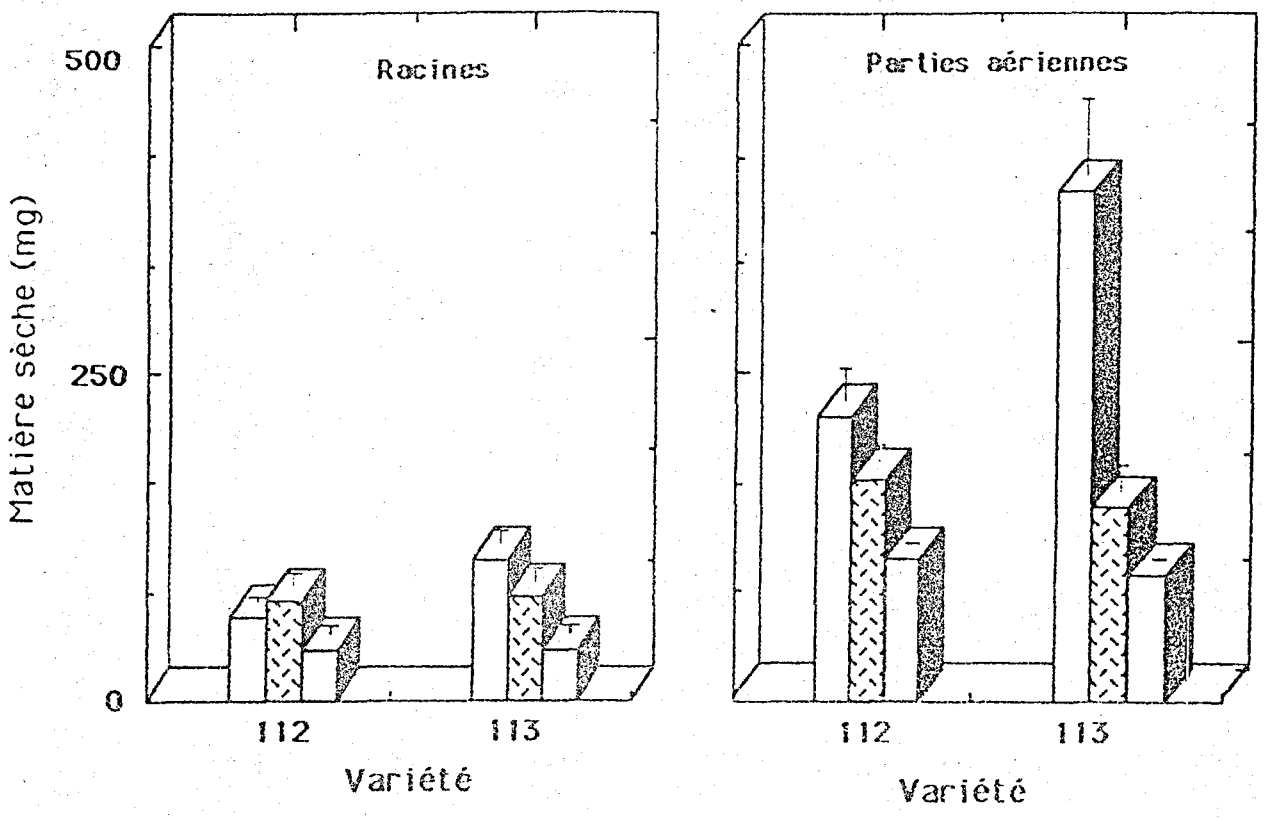


Figure 3 : Croissance des racines et des parties aériennes (mg de MS) de plantules de triticale (112 et 113) après 4 semaines de culture en absence —□— et en présence de NaCl 0,1M —▨— ou 0,2M—▤—. Les valeurs représentent les moyennes de 17 mesures inividuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 95 %.

La comparaison des deux variétés sur la base de la sélectivité K^+/Na^+ ne montre aucune différence de comportement entre les deux variétés étudiées, bien qu'elles ne présentent pas le même degré de tolérence au sel. La sélectivité K^+/Na^+ de l'exportation dans les parties aériennes est considérée comme un déterminant de la tolérence à la salinité (Bizid et al. 1988, Gorham 1990 a, b et c). Nos résultats montrent bien, que les triticales ont une bonne sélectivité en faveur de K^+, ce qui explique leur tolérence au sel, mais les différences entre les deux variétés étudiées ne semblent pas associées à cette caractéristique ionique.

CONCLUSION

L'étude comparative des deux variétés de triticale montre l'existence de différences nettes de comportement, lorsqu'elles sont mises en contact avec des solutions chargées en NaCl. Ces différences variétales apparaissent au stade de la germination, et au cours des premières semaines de la croissance. L'aptitude à la germination en présence de sel semble être un bon indicateur de la tolérence au sel de la plantule autotrophe. Pendant la phase initiale de croissance rapide, les deux variétés se distinguent par des productions de biomasse différentes, la variété 112 présentant une meilleure tolérance à la salinité que la variété 113. Aucune différence entre les deux variétés n'apparaît au niveau des caractéristiques ioniques (teneurs en ions, sélectivité K^+/Na^+).

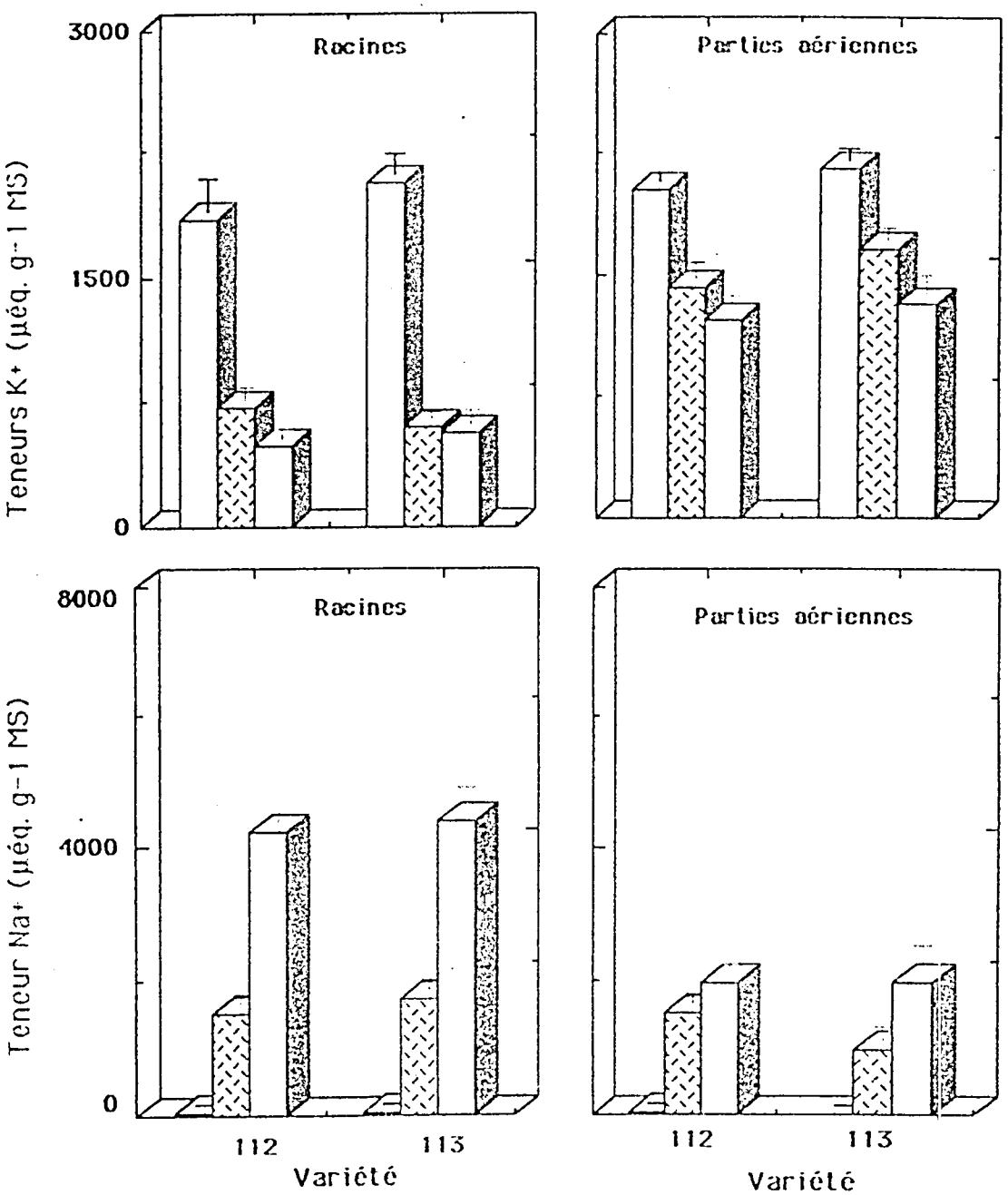


Figure 4 : Teneurs ioniques (µéq. g-1 MS) de K^+ et Na^+ des racines et des parties aériennes de plantules de triticale (112 et 113), après 4 semaines de culture en absence —□— et en présence de NaCl 0,1 M —▨— ou 0,2 M —▤— Les valeurs représentent les moyennes de 7 mesures individuelles, les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 95 %.

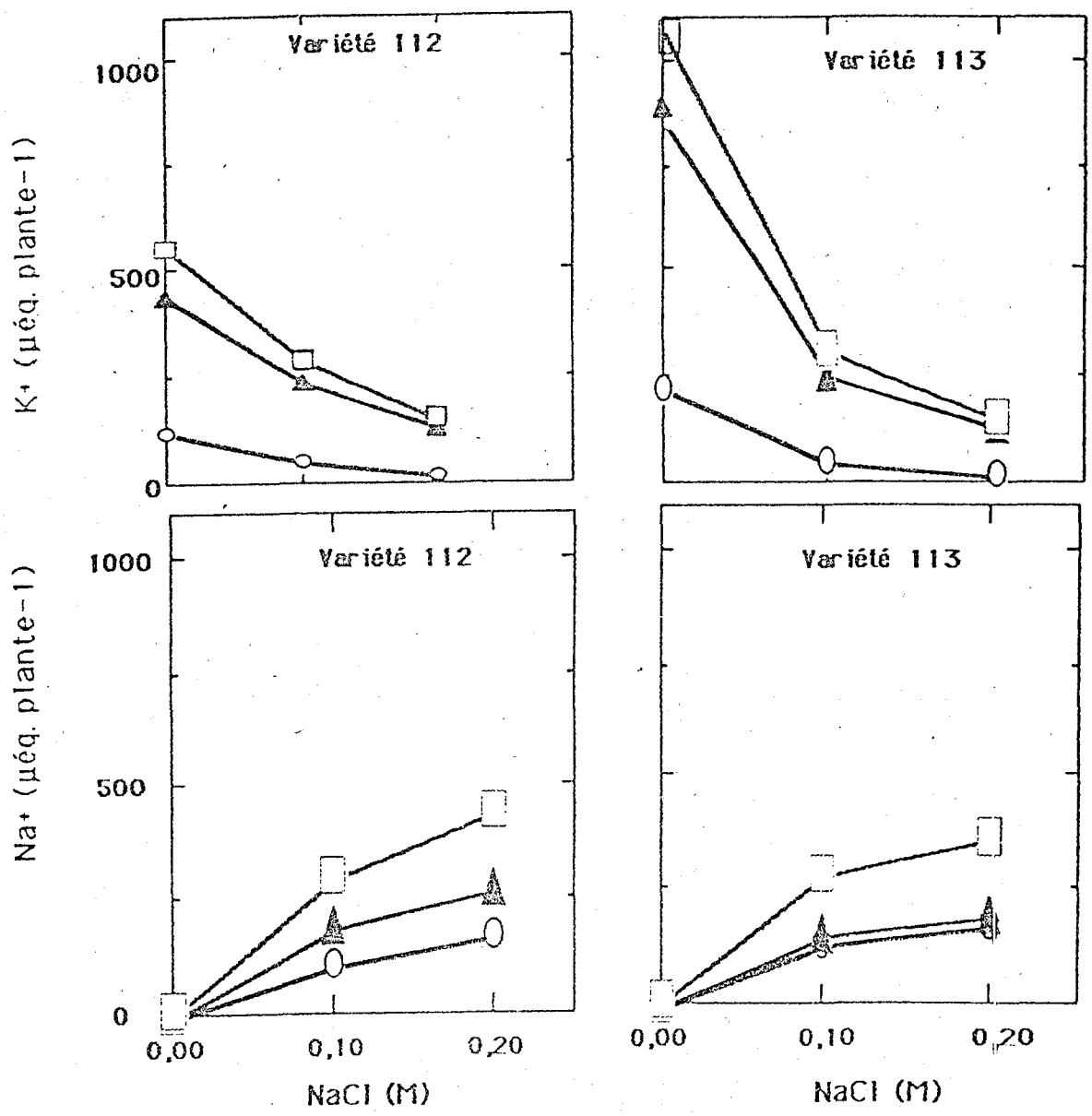


Figure 5 : Bilans nets des transports de Na^+ et K^+ (µéq. $plante^{-1}$) chez deux variétés de triticale (112 et 113), après 4 semaines de culture sur des milieux à différentes concentrations de NaCl. L'accumulation —○— représente les quantités d'ions retrouvés dans les racines, le transport —▲— mesure l'exportation inonique dans les parties aériennes.
L'absorption —□— est la somme de l'accumulation et du transport.

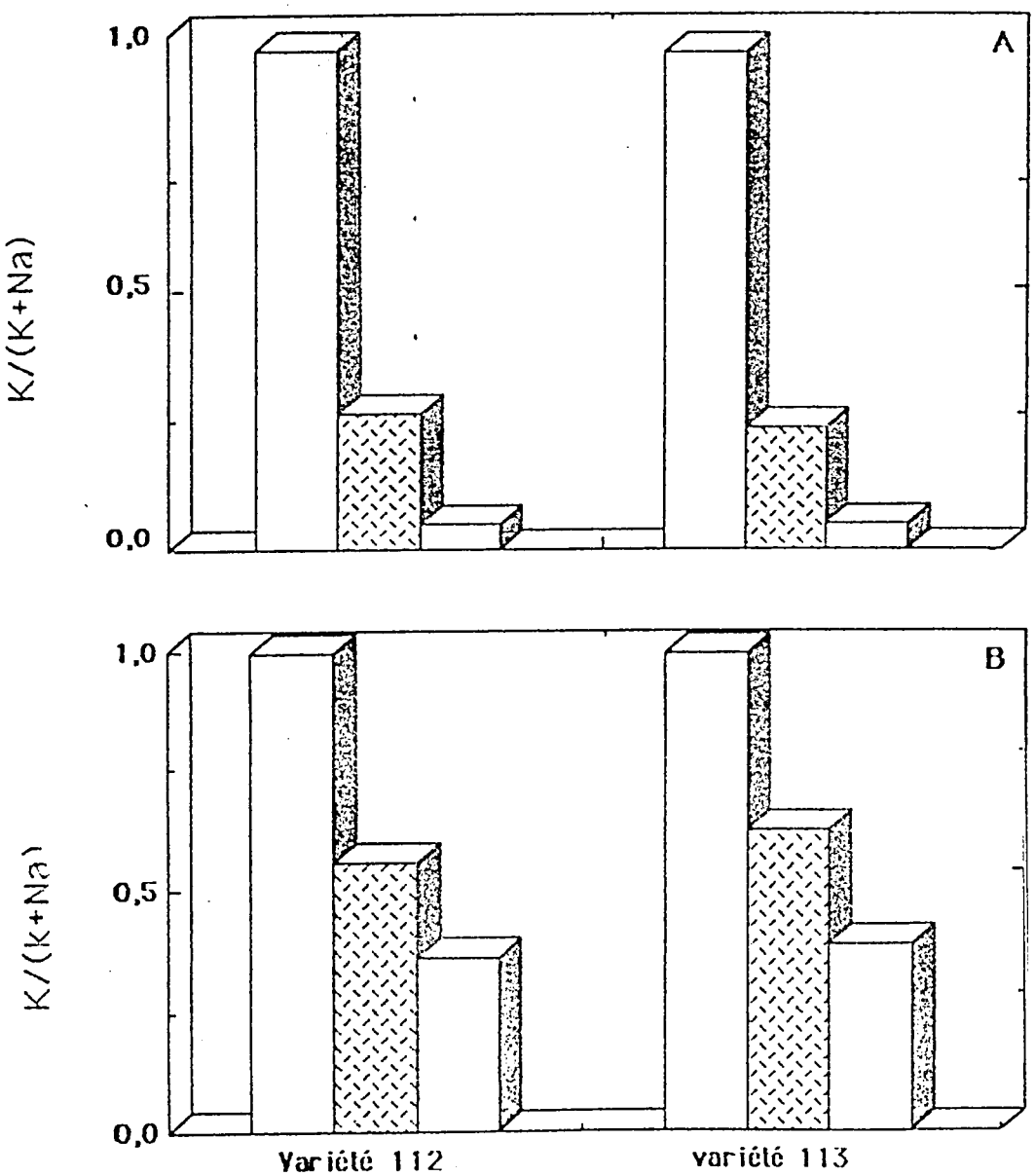


Figure 6 : Fraction ionique équivalentaire K/ (Na+K) de l'accumulation dans les racines (A) et du transport dans les parties aériennes (B) de plantules de triticale (Var. 112 et 113), après 4 semaines de culture en absence —□— ou en présence de NaCl 0,1 M —▨— et NaCl 0,2 M.

REFERENCES

Bernard M 1992. Le triticale. In "Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection". Gallais A et Bannerot H, éd. INRA, Paris, 39-54.

Bizid E, Zid E, Grignon C 1988. Tolérance à NaCI et sélectivité K^+/Na^+ chez les triticales. Agronomie, 8, 23-27.

Bliss RD, Platt-Aloia KA, Thomson WW 1986. Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination. Plant cell Env. 9, 721-725.

Boyer JS 1982. Plant productivity and environment. Science, 218, 443-448.

Gorham J 1990a. Salt tolerance in the triticeae : ion discrimination in Rye and Triticale. J. Exp. Bot 41, 609-614.

Gorham J 1990b. Salt tolerance in the triticeae : K^+/Na^+ discrimination in *Aegilops* species. J. Exp. Bot 41, 615-621.

Gorham J 1990c. Salt tolerance in the triticeae : K^+/Na^+ discrimination in synthetic hexaploid wheats. J. Exp. Bot 41, 623-627.

Grime JP 1977. Evidence for existence of three primary strategie in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. Amer. Natur. 111, 1169-1194.

Hamdy A, Lacirignola C 1988. Saline water practices and management. In "Saline irrigation practices and management". Bari Institue activities CIHEAM-IAM-B, 175-200.

Le houérou HN 1986. salt tolerant plants of economic value in the mediterranean basin. Reclamation and revegetation reseach 5, 319-341.

Maas EV, 1986. Salt tolerance of plants. Appl. Agric. Res. 1, 12-26.

Maas EV, Neiman RH 1978. Physiology of plant tolerance to salinity. In : Jung G. A. Ed. Crop tolerance to suboptimal land conditions. Am. Soc. Agron. Publ. 32; 277-99.

Mudie PJ 1974. The potential economic uses of halophytes. In : Reimold RJ, Queen WH. Eds. Ecology of halophytes. New York : Academic press, 564-97.

Norlyn JD, Epstein E 1984. Variability in salt tolerance of four Triticale Lines at germination and emergence? crop Sc. 24, 1090-92.

Tal M. 1985, Genetics of salt tolerance in higher plants : Theoretical an practical considerations. Plant Soil, 89, 199-226.

Zid E, Grignon C 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. IIèmes Journées Scientifiques du Réseau de Biotechnologies Végétales. L'amélioration des Plantes pour l'Adaptation aux Milieux Arides. AUPELF/UREF. J. Libbey ed. Eurotext. Paris et Londres, 91-108.

15

CNDA 9115

TOLERANCE AU SEL DE LA LENTILLE EN PLEIN CHAMP

M. LACHAAL*, C. ABDELLY*, A. SOLTANI*, M. HAJJI, C. GRIGNON*****

(*) Nutrition minérale, Unité de Biotechnologie Végétale et de Ressources Génétiques, INRST, BP 95, 2050, Hammam-Lif, TUNISIE .

(**) Département de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, Le Belvédère, 1060 TUNIS .

(***) Laboratoire de Biochimie et Physiologie Végétales, ENSA - INRA, 34060, Montpellier CEDEX FRANCE .

RESUME

Afin d'estimer la tolérance au sel de la lentille, *Lens culinaris L.*, des cultures ont été faites en plein champ dans la station expérimentale du CRGR à Cherfech, sur quatre populations locales d'origine différente. Les plantes sont irriguées avec trois qualités d'eau différentes : l'eau de ville, prise comme témoin, l'eau de la Medjerda et une eau relativement salée (2 à 3 $g.l^{-1}$) d'un puits situé dans la station. Les récoltes sont faites aux principaux stades de développement (avant et pendant la floraison, à la fructification et à la maturation des fruits) .

A chaque récolte, la chlorophylle et les principaux éléments nutritifs (N, P, K, Ca, Na, et Cl) sont dosés. La composition chimique du sol et des eaux d'irrigation est suivie régulièrement tout au long de l'expérience .

L'irrigation avec une eau relativement chargée (puits) ne semble pas modifier la salinité de la couche du sol exploitée par les racines de la plante . La production de biomasse des quatre populations est peu affectée par le sel; par contre le rendement en grains diminue nettement . L'action dépressive du sel se manifeste davantage au niveau du nombre que de la masse des graines dont le contenu en N, P et K est très peu modifié .

Les teneurs en chlorures et en sodium des feuilles augmentent avec la salinité avec une prédominance de Cl- . Les deux ions se répartissent selon un gradient de concentration décroissant de bas en haut de la plante. La teneur en chlorophylle des feuilles ainsi que la répartition de K+ et Ca^{2+} entre les étages foliaires ne sont pas modifiées par Na+ et Cl- internes . L'irrigation avec une eau relativement salée est peu supportée par l'ensemble des populations, à l'exception de celle de Tamezret dont le rendement est relativement plus stable .

INTRODUCTION

L'utilisation des eaux salées en agriculture dans les régions arides et semi-arides conduit souvent à une accumulation de sels dans le sol, limitant ainsi la croissance et le rendement de beaucoup de plantes cultivées. C'est ce qui explique que 30 à 50 % de terres cultivées sont affectées par la salinité des eaux d'irrigation (Mass et Hoffman, 1977). L'une des approches modernes pour l'exploitation de ces sols est l'amélioration de la tolérance au sel des espèces cultivées (Epstein, 1985). Le succès de cette approche est tributaire d'une part, d'une meilleure connaissance des mécanismes physiologiques impliqués dans cette tolérance, et d'autre part de l'existence d'une variabilité inter et intraspécifique pour ces caractères .

Notre étude, inscrite dans le cadre de cette approche, a pour objectif d'explorer la variabilité intraspécifique pour la tolérance au sel chez la lentille, légumineuse très cultivée de par le monde, en utilisant des critères agronomiques, à savoir la production de biomasse et le rendement en grains, et physiologiques telles que l'accumulation foliaire de Na^+ et Cl^- et les teneurs en chlorophylle .

MATERIEL ET METHODES

Quatre populations de lentille provenant de diverses régions de la Tunisie sont utilisées . Elles sont désignées dans le texte par les abréviations des localités où elles sont cultivées : Mal (Mateur 1), Wes (Weslatia), Tam (Tamezret) et Com (variété commercialisée en Tunisie).

Conduite des cultures

Deux essais ont été menés à la station expérimentale de Cherfech (CRGR) durant les années 1987-1988 et 1988-1989 . Les semis ont été effectués aux mois de décembre 1987 et novembre 1988, en lignes espacées de 40 à 50 cm, à raison de 150 à 200 graines par parcelle de 4 m^2 .

Après la levée, le nombre de plantes par parcelle est ramené à environ 100 . L'irrigation est faite à l'eau de ville, à raison d'une fois toutes les trois semaines, jusqu'au mois de février . Deux mois après le semis, les plantes de chaque population, réparties sur 7 parcelles, sont irriguées jusqu'à la récolte finale avec des eaux de salinité différente : trois à l'eau de ville (V), prises comme témoin, deux à l'eau de la Medjerda (M) et les deux autres à l'eau d'un puits (P) situé dans la parcelle . Quoique parfois perturbé par les pluies, le rythme des irrigations est à peu près de 3 fois par mois . Au total les plantes reçoivent une dose de 320 $l.m^{-2}$.

Au cours de la lère campagne des prélèvements de feuilles sont effectués pour les dosages des ions et de la chlorophylle . Ces deux types d'analyses sont faits séparément sur des lots de feuilles à peu près identiques prélevés ainsi sur la même plante : les feuilles de 5 tiges comparables (pour chaque type d'analyse) sont réparties d'après leur position sur les axes, en feuilles supérieures (touffe apicale), feuilles inférieures (insérées sur la partie basale), et feuilles médianes (position intermédiaire)

Deux plantes par parcelle sont choisies au hasard pour effectuer ces prélèvements . A la récolte finale , les plantes sont comptées et prélevées, et le rendement est estimé d'après le nombre et la masse des graines .

La campagne de 1988-1989 a été faite pour vérifier et compléter les résultats de la campagne précédente et surtout pour suivre l'évolution de la biomasse en fonction de la salinité des eaux d'irrigation . Pour ceci 5 prélèvements répartis de février à juin ont été faits, le premier au moment de l'application des traitements (prélèvement de départ) et le dernier à la récolte finale . Lors de ces récoltes, les plantes sont prélevées sur des lignes différentes à raison de quatre par parcelle . La récolte finale porte sur la totalité des plantes restantes dans chaque parcelle . Le rendement en grains étant très affecté par suite d'un dessèchement prématuré des plantes, n'a pu être évalué correctement que chez la population Tam .

Caractéristiques des eaux d'irrigation et du sol

Les principales caractéristiques chimiques des eaux d'irrigation (tab. 1) et du sol (tab. 2) sont déterminées selon les méthodes décrites précédemment (Lachaâl, 1992) .

Tableau 1 - Caractéristiques des eaux d'irrigation de la station expérimentale de Cherfech . Prélèvements effectués en février, avril et mai (1987-1988 et 1988-1989) . R.sec= résidu sec, $g.l^{-1}$. CE= Conductivité électrique, $mmhos.cm^{-1}$. NaCl= valeurs calculées d'après les dosages de Na+ et Cl^-, $g.l^{-1}$. V= eau de ville, M= eau de la Medjerda, P = eau de puits .

Mois	pH			R.sec			CE			NaCl		
	V	M	P	V	M	P	V	M	P	V	M	P
						1987 - 1988						
février	8,10	7,75	7,80	0,56	1,57	2,38	0,93	2,26	3,20	0,31	0,90	1,20
avril	7,98	8,20	7,94	0,63	1,34	2,89	1,05	2,13	4,35	0,28	0,64	1,33
mai	7,98	7,56	8,00	0,83	1,39	2,17	1,48	2,31	3,44	0,40	0,72	1,02
						1988 - 1989						
février	7,97	8,38	8,14	1,34	2,29	2,99	1,89	3,12	4,03	0,62	1,15	1,29
avril	8,47	8,07	7,80	1,14	2,46	4,25	1,61	3,39	5,50	0,54	1,32	2,12
mai	8,20	8,28	7,80	1,36	2,74	3,15	2,00	3,76	4,17	0,71	1,51	1,40

Tableau 2 - Caractéristiques chimiques de la fraction soluble du sol en fonction de la qualité de l'eau d'irrigation (V , M ou P). les valeurs sont des moyennes de 28 répétitions (28 parcelles) avant le semis . Pour les prélèvements post-récoltes , il s'agit de moyennes de 12 répétitions pour le traitement témoin (v) et de 8 pour chacune des deux autres . les ions sont exprimés en méq. $100g^{-1}$ de sol sec et la conductivité éléctrique (CE) en mmhos. cm^{-1} à 25° C

Irrigation	CE	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Cl^-
			décembre 1987 (départ)		
Avant irrigation	0,43 ± 0,07	0,73 ± 0,11	1,51 ± 0,23	1,91 ± 0,24	0,52 ± 0,04
			juin 1988 (post-récolte)		
V	0,35 ± 0,02	1,25 ± 0,11	0,73 ± 0,13	1,45 ± 0,06	0,46 ± 0,04
M	0,43 ± 0,05	1,50 ± 0,14	1,00 ± 0,32	1,72 ± 0,19	0,95 ± 0,14
P	0,56 ± 0,07	2,08 ± 0,27	0,92 ± 0,11	2,25 ± 0,17	1,57 ± 0,26

Analyse des plantes

Les ions K^+ ,Na^+, Ca^{2+} et Cl^-,sont dosés dans les trois catégories de feuilles (cf. ci-dessus) sur le produit d'une extraction nitrique (NO_3H O,5%) ,après dessication de la matière fraîche pendant 24 heures dans une étuve à 80°C.

le dosage de la chlorophylle totale dans les feuilles est fait sur un extrait de la matière fraîche dans une solution d'éthanol à 80% (V/V), au moyen d'un spectrophotomètre U.V. visibles (type Pye Unicam) à 654nm. Les teneurs globales sont calculées selon la formule d'Arnon (1949).

RESULTATS ET DISCUSSION

L'irrigation à l'eau salée a peu modifié la salinité totale de la couche superficielle du sol se situant entre o et 25cm de profondeur: la conductivité électrique de l'extrait soluble (sol /eau=1/10) a peu varié entre le début et la fin de la récolte, même dans les parcelles irriguées avec les eaux les plus chargées en sel, bien qu'on y observe un enrichissement en Na^+ et Cl^-(tab.2). Toutefois, on doit souligner que ces mesures sont faites sur des extraits dilués par rapport à la solution du sol, et ne peuvent traduire correctement les variations réelles de la salinité du sol. Les différences étant fortement atténuées du fait de la dilution, il aurait été peut être préférable, (si ce n'est la lourdeur de la méthode), d'utiliser l'extrait de la pâte saturée du sol. Cependant la méthode de l'extrait soluble que nous avons adoptée reste valable pour une appréciation rapide de la salinité du sol (Gouny et brachet, 1967). Quels que soient les résultats, les effets observés traduisent l'action combinée des salinités du sol et de l'eau d'irrigation.

Croissance et développement

Le suivi des cultures en plein champ nous a permis de relever certaines différences entre les populations, notamment la précocité chez la population Tam qui se distingue des trois autres par un cycle relativement court et une floraison précoce (début avril). Généralement bien avant la fin du cycle de développement (au courant de mai), des nécroses foliaires commencent à apparaître sur certaines plantes aboutissant par la suite à leur dessèchement, en particulier sur les traitements à forte salinité (M et P). La figure 1 montre pour les quatre populations, l'évolution de la production de biomasse depuis le début dú traitement jusqu'à la récolte finale . Le dessèchement signalé ci-dessus, explique que les biomasses à la récolte finale soient parfois plus faibles que celles de la récolte précédente . Néanmoins, on voit qu'il ne présente pas de relation avec la qualité des eaux d'irrigation . Deux conclusions peuvent être dégagées de l'analyse de cette figure : (1) les trois traitements donnent des résultats comparables à chaque prélèvement, chez les populations Com, Wes et Mal ; (2) chez Tam, les plantes irriguées à l'eau de puits (P, la plus chargée en sel) produisent des biomasses plus faibles que celles obtenues sur traitement témoin (V), aussi bien pendant la phase d'activité maximale de croissance (en mai) qu'à la récolte finale . Cet effet est peu marqué avec l'eau de la Medjerda; les différences de biomasse avec le témoin (V) ne sont pas significatives .

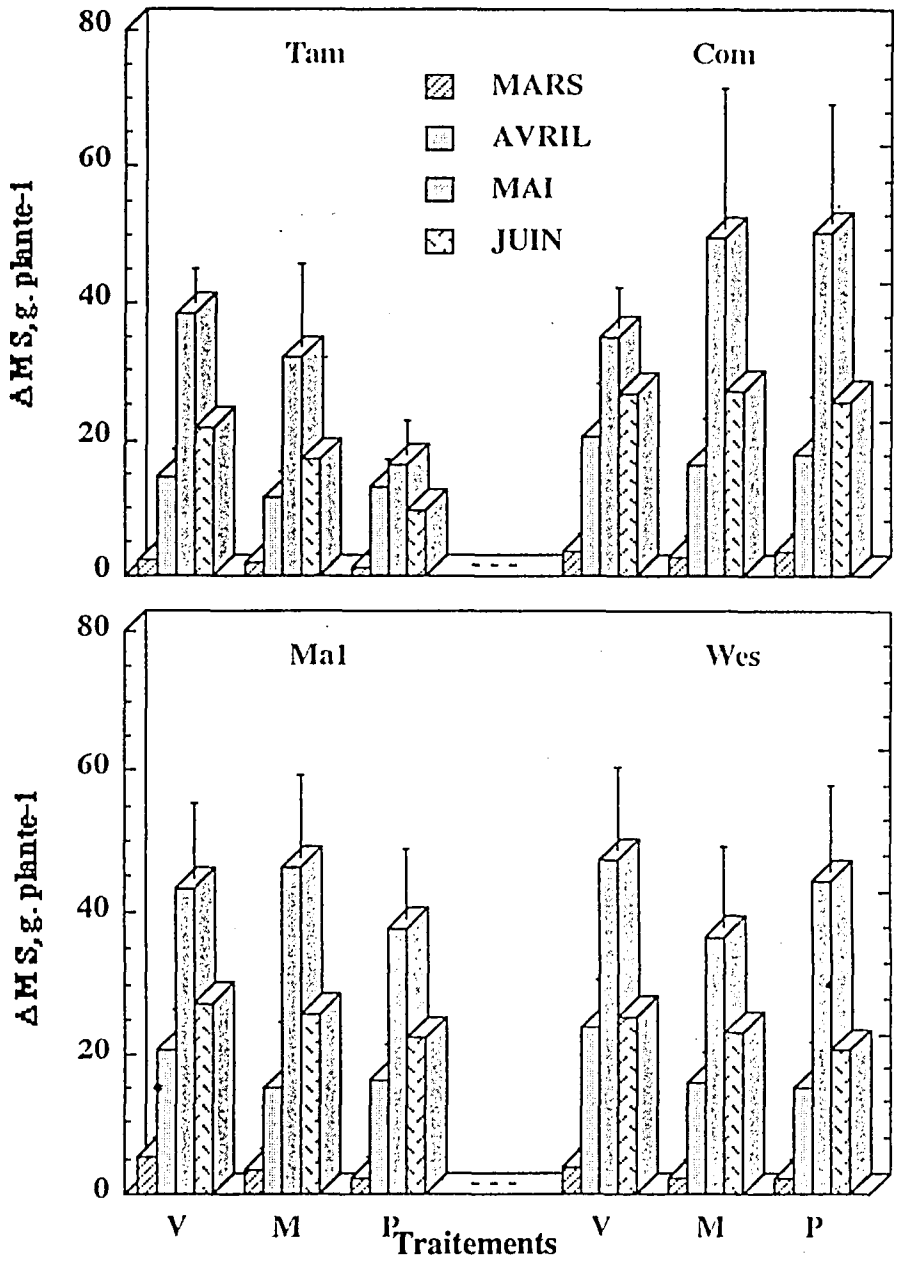


Figure 1 Evolution au cours du cycle de développement, de la production de MS des parties aériennes en fonction de la salure des eaux d'irrigation . Prélévements en février, mars, avril, mai et juin (récolte finale) . AMS = MSt - MSd, MSt représente la masse de matière sèche des plantes à l'instant t (mois) et MSd, celle des plantes de départ (prélèvement de février) . Moyennes de 8 à 12 mesures sur des plantes individuelles . Intervalles de sécurité au seuil de 5 % .

Distribution des ions dans les étages foliaires et teneurs en chlorophylle .

En plus de la distribution ionique entre trois niveaux de feuilles d'âges différents, nous avons recherché la relation entre les teneurs en Na^+ et en chlorophylle dans ces organes . Yeo et Flowers (1983) ont montré sur des feuilles individuelles de plusieurs variétés de riz, une relation inverse entre ces deux paramètres . Ils définissent le seuil de toxicité comme étant la concentration de sodium qui entraîne une perte de 50 % de chlorophylle .

L'accumulation de Na^+ et de Cl^- dans les différents étages foliaires est illustrée sur la figure 2 . L'examen de cette figure montre des résultats comparables chez les quatre populations .

(1) Les feuilles accumulent Na^+ et Cl^- selon un gradient croissant des étages supérieurs vers les étages inférieurs .

(2) Les niveaux d'accumulation sont nettement plus élevés pour Cl^- que pour Na^+; il s'agit d'un trait physiologique caractérisant de façon générale les plantes sensibles .

(3) Les différences de teneurs dues aux traitements (qualité des eaux), sont le plus souvent significatives .

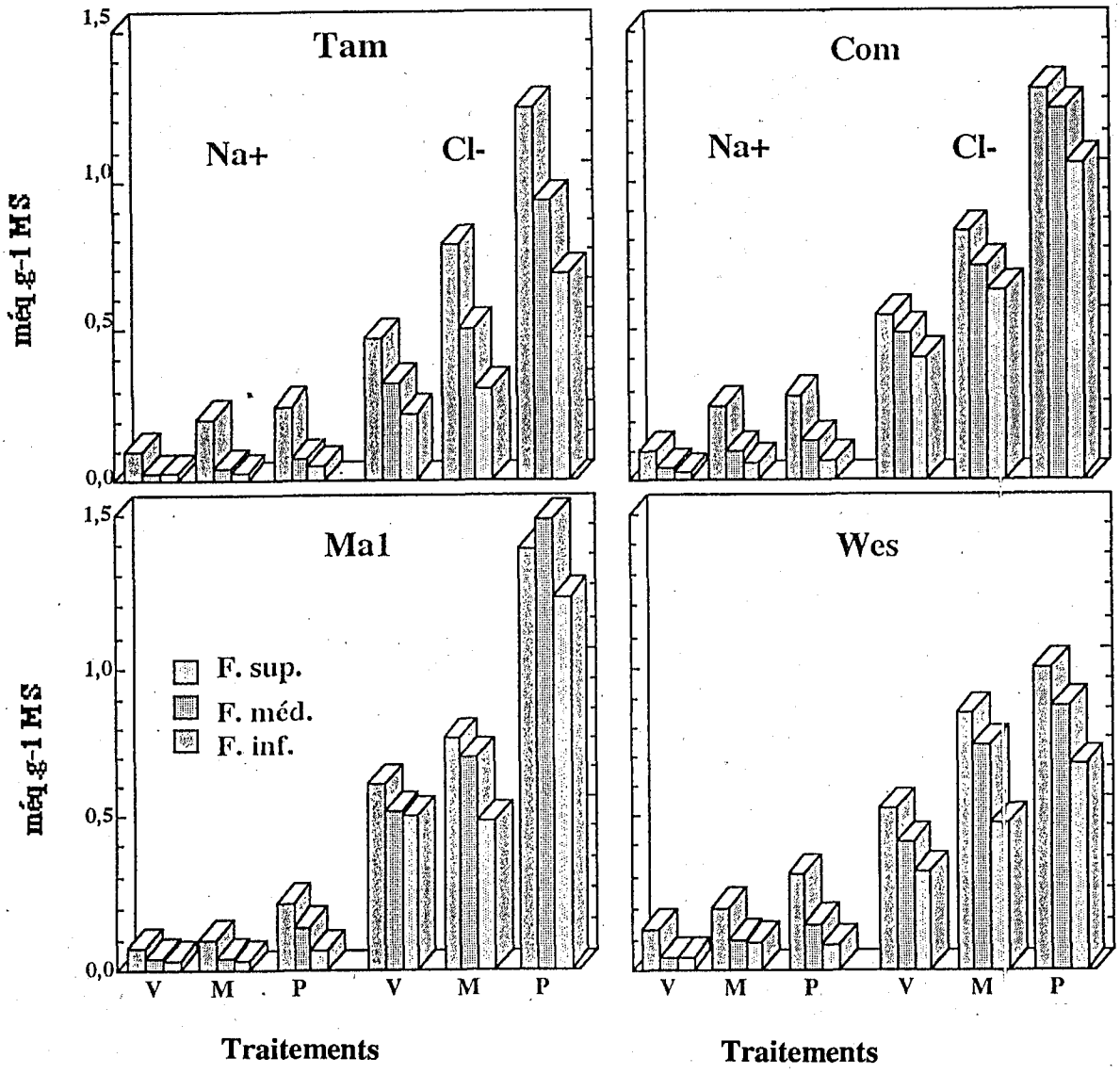


Figure 2 Teneurs en Na+ et Cl- des feuilles supérieures (F. sup.) médianes (F. méd.) et inférieures (F. inf.) chez les quatre populations de lentille, en fonction de la qualité des eaux d'irrigation. Prélèvement du mois de mai (1988) .

La figure 3 illustre l'évolution des teneurs en K^+ et Ca^{2+} des différents étages foliaires en fonction de la qualité des eaux d'irrigation . Dans la plupart des cas, les feuilles sont, dès leur jeune âge, riches en K^+ et elles s'enrichissent encore dans un second stade (comparer les feuilles

supérieures aux feuilles médianes et inférieures) . L'absence de gradient marqué le long de la plante, indique que l'apport de K^+ se fait en proportion de la mise en place de nouvelles feuilles . Chez Tam, toutefois, on note que l'irrigation avec l'eau de puits (P) entraîne une baisse des teneurs en K^+ dans les feuilles médianes : c'est probalement le signe d'une entrée en sénescence plus précoce, avec remobilisation du K^+ foliaire. Contrairement à K^+, les teneurs en Ca^{2+} augmentent régulièrement avec l'âge des feuilles, ce qui entraîne un gradient croissant du sommet à la base des plantes (comparaison des étages supérieur, médian, inférieur) . Aucun signe de remobilisation de Ca^{2+} n'est visible dans les vieilles feuilles. Ces traits s'observent indépendamment de la qualité des eaux d'irrigation. Ces deux comportements opposés de K^+ et Ca^{2+} s'expliquent classiquement par les différences de mobilité de ces ions dans le phloème : le premier, très mobile, circule à travers la plante des feuilles aux racines (Touraine et al., 1988), tandis que le second est immobilisé au terminus de transpiration (Raven, 1977).

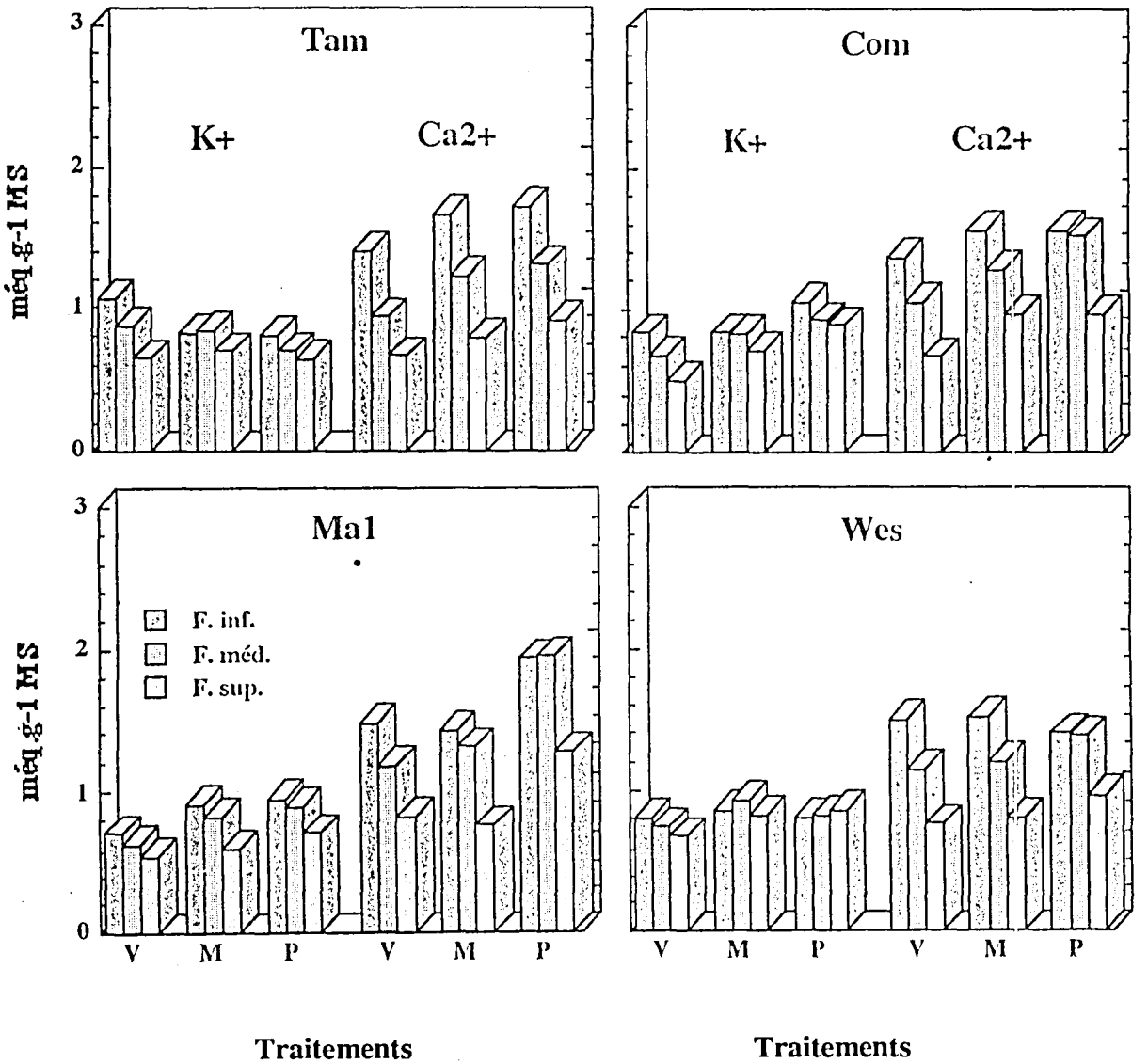


Figure 3 Teneurs en K+ et Ca2+ des trois catégories de feuilles chez les quatre populations de lentille (cf. lég. fig. 2) .

La figure 4 met en rapport les teneurs en chlorophylle avec celles de Na^+ dans les tissus foliaires. L'allure générale des courbes indique que l'accumulation de Na^+ est associée à une baisse de la teneur en chlorophylle . Mais cette relation disparaît lorsque la teneur en Na^+ excède environ 20 µéq.g^{-1} MF. Les différences des niveaux d'accumulation de la chlorophylle entre Tam et Wes d'une part, et Com et Mal d'autre part, sont imputables au décalage de la date des récoltes (Com et Mal sont prélevées deux semaines plus tard) .

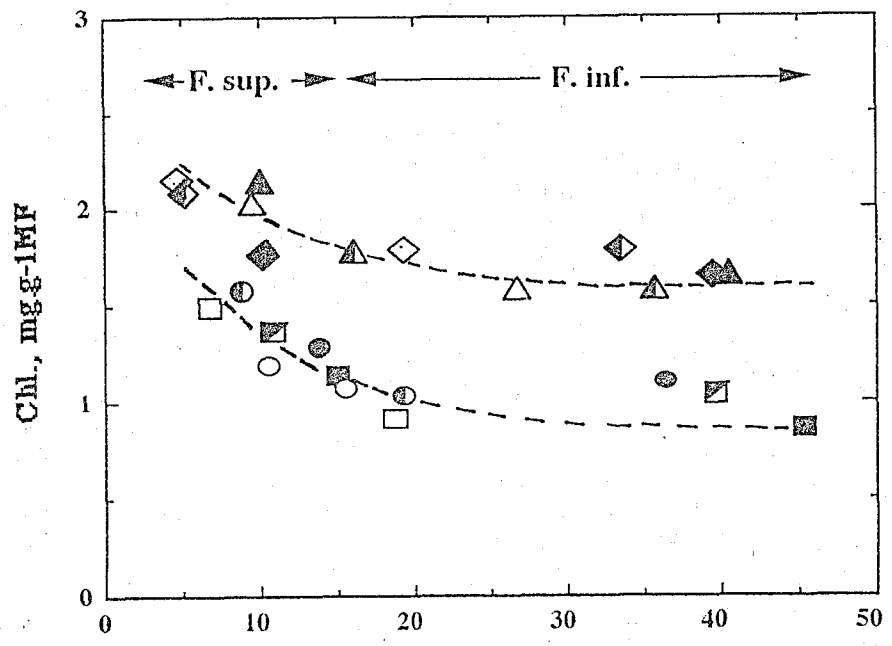


Figure 4 Relation entre les teneurs en chlorophylle et en Na+ des feuilles. Résultats du prélèvement de mai 1988. Les symboles distinguent les populations : Tam (losanges), Wes (triangles), Com (carrés), Mal (cercles). Les traitements V, M et P sont désignés respectivement par les symboles ouverts, semi-ouverts et pleins (V= eau de ville; M= eau de la Mejerda; P= eau de puits).

Effet du sel sur le rendement en grains.

La figure 5 présente les rendements en grains des récoltes de 1988 et 1989. Il est clair que la population Tam affiche la production la plus importante sur le traitement témoin (V). Cette production est touchée par le sel, en particulier sur le traitement P. Ces résultats sont en partie confirmés par la récolte de 1989 (encadré de la fig. 5). En effet seule la population Tam montre des effets comparables à ceux de la première campagne, les rendements des trois autres sont très faibles et vont jusqu'à s'annuler. Ceci pourrait s'expliquer par le dessèchement qui commence à se manifester chez ces populations au moment de la floraison . Seule la population Tam dont la floraison est relativement précoce, a échappé aux effets néfastes de ce phénomène . Deux facteurs au moins semblent impliqués dans ce dessèchement : les conditions climatiques (température élevée et forte humidité) qui ont favorisé le développement d'un champignon (le charbon), et l'importance de la charge en NaCl des eaux de traitement utilisées au cours de cet essai (tab. 1) .

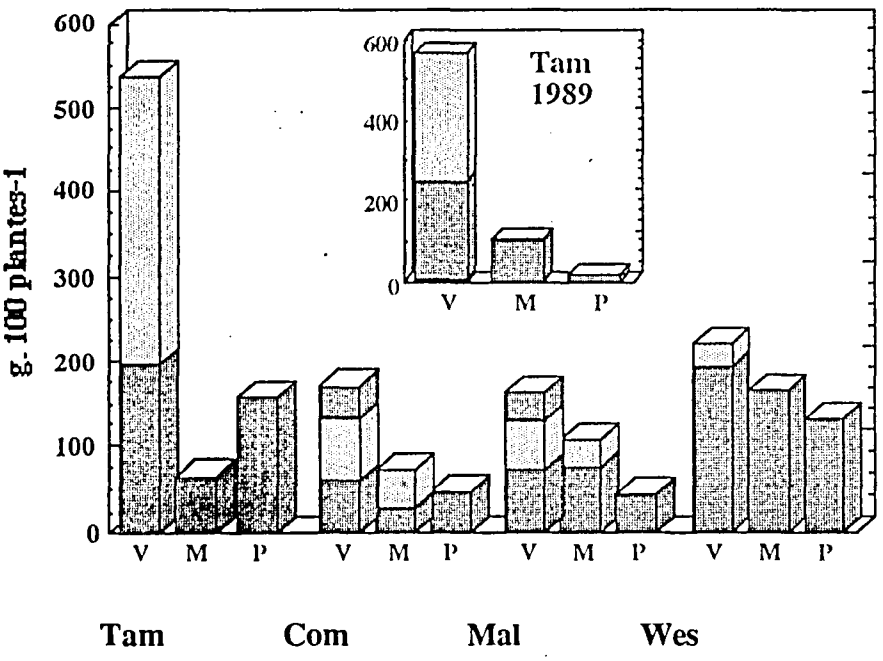


Figure 5 Rendements en grains pour différentes qualités d'eau d'irrigation . Résultats de 1988, correspondant aux récoltes de chacune des parcelles . Dans certains cas le même traitement fait l'objet de deux ou trois récoltes, représentées séparément sur le même bloc de l'histogramme . Dans l'encadré figurent les résultats de 1989 pour la population Tam .

En considérant d'autres composantes du rendement, on remarque que le nombre de graines produites par plante diminue avec le sel chez les quatre populations (fig. 6A) . Par contre le poids moyen de 100 graines qui demeure toujours inférieur à celui des semences initiales, enregistre des valeurs voisines pour tous les traitements (fig.6B) . Le sel semble agir davantage sur le nombre de graines, donc de fleurs fécondées et non avortées, que sur leur poids .

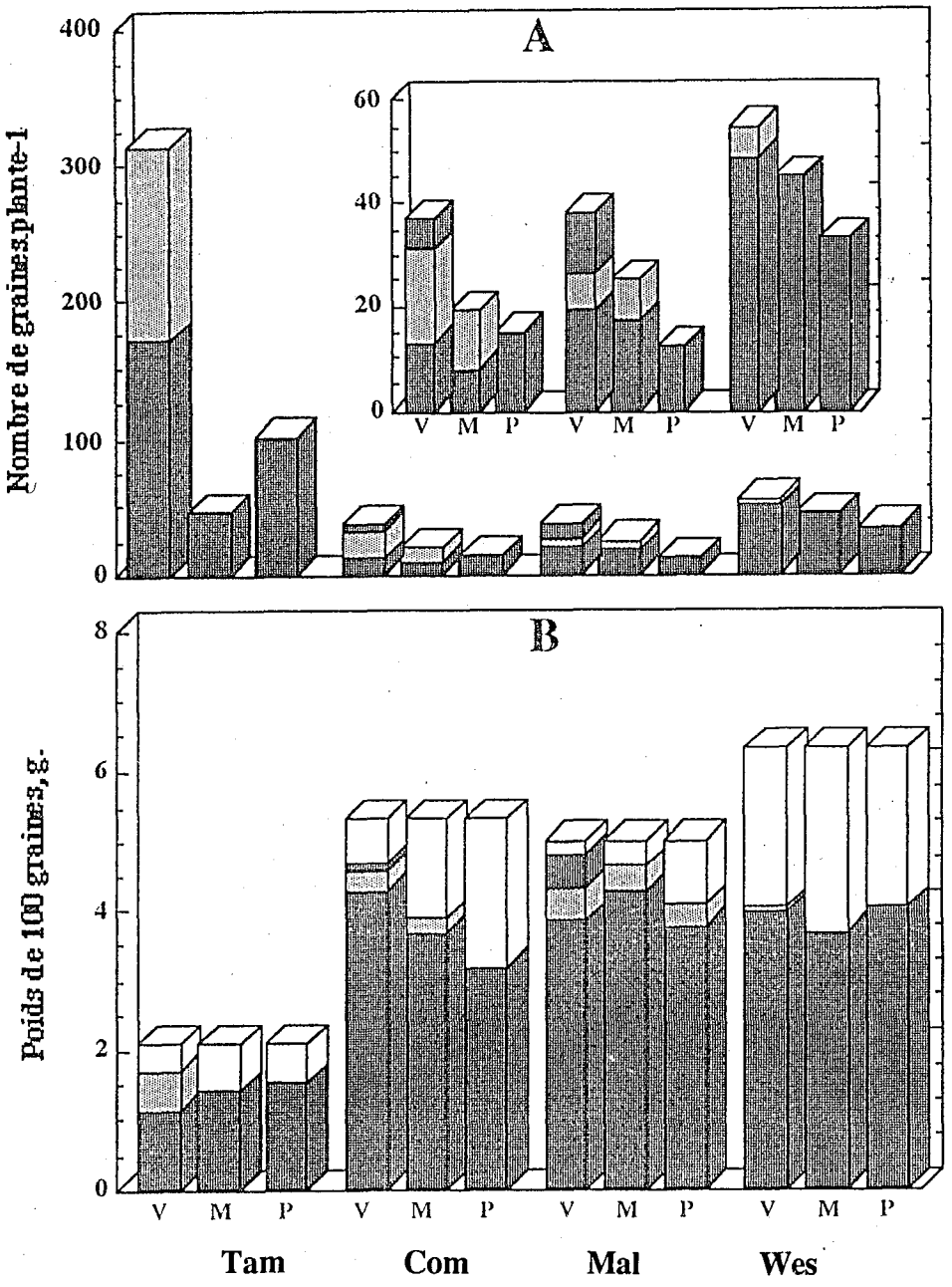


Figure 6 Effet des traitements sur la production en grains à la récolte 1988 (A= nombre, B= masse) . Dans l'encadré (A), les résultats des populations Com, Mal et Wes sont repris à une échelle plus grande . Le niveau supérieur des histogrames (B) indique le poids des semences initiales . V, M, et P (irrigation) : respectivement eau de ville, eau de la Medjerda, eau de puits . Suite cf. lég. fig.5.

Les résultats de la littérature relatifs à la tolérance au sel de la lentille (Das et Mehrotra, 1971; Ayoub, 1977) indiquent que cette espèce est modérément tolérante à la salinité au stade germination mais plus sensible aux stades ultérieurs de la croissance . Une réduction de 50 % de la matière sèche est obtenue pour une salinité du sol correspondant à environ 1g.l-^{1} NaCl (Das et Mehrotra, 1971) ou 2,5 g.l-^{1} NaCl (Ayoub, 1977) . Le rendement en grains est réduit de moitié à 2 g.l-^{1} NaCl environ. Sur sols sodiques, la perte des plantes semble liée à une accumulation excessive d'ions Na^{+}dans les

tissus (Ayoub, 1975) . Le seuil de toxicité se situe à 0,8 méq. g^{-1} MS environ, cependant la survie de la plante n'est fortement affectée qu'au-delà de 1,5 méq.g^{-1} MS (Ayoub, 1977) . Nos résultats sont comparables aux précédents, en effet la survie des plantes et la formation de gousses sont fortement affectées par une salinité comparable, voisine de 2 g.l-1 NaCl (traitement P), entraînant une diminution importante du rendement en grains . Cependant, cet effet inhibiteur semble plutôt lié au champ à une accumulation excessive de Cl^- que de Na^+ . Un résultat similaire est obtenu chez le citrus, où la sensibilité est associée à une accumulation de Cl^- (Chapman, 1968) . Toutefois aucune distinction claire, permettant d'expliquer le meilleur comportement de Tam, ne peut être faite sur la base de ce paramètre . Mise à part l'accumulation de Cl^-, aucun signe précurseur du dessèchement n'a pu être décelé par les analyses foliaires sur les plantes cultivées au champ, mais ceci peut être dû au fait que la proportion de feuilles saines dans les échantillons était importante par rapport à celle des feuilles proches du seuil critique de toxicité (indécelables à l'échantillonnage) .

Du point de vue agronomique la lentille peut être classée comme une culture sensible au sel, comme le haricot, le pois et le citrus (Richards, 1954; Greenway, 1973; Ayoub, 1977) .Toutefois des lignées de lentille tolérantes au sel ont été identifiées par criblage rapide, au début sur milieu hydroponique, puis en plein champ (Jana et Slinkard, 1979) . Nos résultats ont montré aussi l'existence d'une diversité de comportements vis-à-vis du sel dans les populations de lentille, mais ils ne révèlent aucune relation claire entre la performance au stade jeune et la résistance au sel au stade adulte. Des résultats similaires sont obtenus sur le soja (Abel et Mackenzie, 1964), le citrus (Chapman, 1968; Zid, 1989), le triticale (Norlyn et Epstein, 1984) et sur l'orge et le blé (Norlyn, 1980). Comme il a été suggéré auparavant par certains auteurs (Shannon, 1979; Kingsbury et Epstein, 1984) la tolérance au stade plantule dans les conditions de nos expériences, ne reflète pas celle au stade adulte. Ceci peut être dû au fait que les mécanismes de résistance au sel diffèrent entre plantules et plantes adultes (Hunt, 1965) .

CONCLUSION

En conclusion l'irrigation à l'eau salée a affecté le rendement en grains de la lentille sans pour autant modifier la production de biomasse. Cette action depressive du sel se manifeste davantage au niveau du nombre que la masse des graines . L'une des causes de ces effets semble être le dessèchement des plantes entrainé par une accumulation excessive de Cl^-.

Enfin la lentille peut être classée parmi les cultures sensibles au sel. Toutefois nos résultats ont révélé l'existence d'une variabilité intra-spécifique pour la tolérance au sel shez cette espèce . La population Tam qui a un développement plus précoce est plus tolérante que les autres.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abel G.H., Mackenzie A.J., 1964 - Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max L.*) during germination and later growth. *Crop Sci.*, 4, 157-161 .

Arnon D.I., 1949 - Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxydase in *Beta vulgaris* . *Plant Physiol.*, 24, 1 - 15 .

Ayoub A.T., 1975 - Studies on the incidence of the heavy lentil and chick- peas plants losses . *Annual Report, Hudeiba Agricultural Research Station, Ed-Damer,* Sudan .

Ayoub A.T., 1977 - Salt tolerance of lentil (*Lens esculenta*) . *Journal of Horticultural Science,* 52, 163 - 168 .

Chapman H.D., 1968 - The mineral nutrition of Citrus ; In The Citrus Industry . Il *W. Reuther, L.D. Batchelor et H.D. Webber eds., Univ. California Press,* Berkeley, 127 - 289 .

Das S. K., Mehrotra C.L., 1971 - Salt tolerance of some agricultural crops during early growth stages . *Indian . J. Agric. Sci.,* 41, 882-888 .

Epstein E., 1985 - Salt-tolérant crops : origins, development and prospects of the concept . *Plant and Soil,* 89, 187 - 198 .

Gouny P., Brachet J., 1967 - La qualité des eaux d'irrigation ; *Extrait du Bulletin Technique d'information,* France, n° 224, 1 - 9 .

Greenway H., 1973 - Salinity, plant growth and metabolism. J. Aust. Inst agr; Sci., 39, 24-34.

Hunt O.J., 1965 - Salt tolerance in intermediate wheatgrass (*Agropyron intermedium) . Crop Sci.,* 5, 407 - 409 .

Jana M.K., Slinkard A.E., 1979 - Screening for salt tolerance in lentils . *Lens,* 6, 25 - 27 .

Kingsbury R.W., Epstein E., 1984 - Selection for salt-resistant spring wheat . *Crop Sci.,* 24, 310 - 315 .

Lachaâl M., 1992 - Exploration de la variabilité de la tolérance au sel chez la lentille (*Lens culinaris L.*) . Thèse de spécialité, Fac. Sc. Tunis, 163p .

Maas E.V., Hoffman G.J., 1977 - Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. and Drainage Div., ASCE 103 (IR2)* , 115 - 134 .

Norlyn J.B., 1980 - Breeding salt-tolerant crop plants. In : *Genetic Engineering of Osmoregulation : Impact on Plant Productivity for Food, Chimicals and Energy. D.W. Rains, R.C. Valentine, A; Hollander eds. Plenum.* New York and London, 293 - 309 .

Norlyn J.B., Epstein E., 1984 - Variability in salt tolerance of four triticale lines at germination and emergence. *Crop Sci.,* 24, 1090 - 1092 ;

Raven A., 1977 - H^+ and Ca^{2+} in phloem and symplast : relation of relative immobility of the ions to cytoplasmic nature of the transport paths. *New Phytol.,* 79, 465 - 480 .

Richards L.A., 1954 - *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook* N° 60, 160 P .

Shannon M.C., 1979 - In quest of rapid screening techniques for plant salt tolerance . *Hort Science,* 14, 587 - 589 .

Touraine B., Grignon N. Grignon C., 1988 - charge Balance in NO_3- Fed Soybean . Estimation of K^+ and carboxylate recirculation . *Plant Physiol.,* 88, 605 - 612 .

Yeo A.R., Flowers T.J., 1983 - Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves . *Physiol . Plant . ,* 59, 189 - 195 .

Zid E., 1989 - Etude de la nécrose foliaire chez différentes espèces de citrus cultivées en présence de NaCl. *Rev. Fac. Sci. Tunis,* 4, 145 - 160 .

INRST 9156

ADAPTATION DE *MEDICAGO* AUX SOLS SALES

C. ABDELLY*, M. LACHAAL*, A. SOLTANI*, M. HAJJI, C. GRIGNON*****

(1*) Nutrition Minérale, Unité de Biotechnologie Végétale et de Ressources Génétiques, INRST, BP 95, 2050, Hammam-Lif, TUNISIE.

(**) Faculté des sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1060 Le Belvédère, TUNISIE.

(***) Laboratoire de biochimie et Physiologie Végétales, ENSA; 34060, Montpellier Cedex, FRANCE.

RESUME

Pour identifier les trais physiologiques qui confèrent aux Medicago l'aptitude à coloniser les région salées, deux séries d'expériences ont été faites sur quatre espèces originaires d'une bordure de sebkha de la région d'Enfidha. Dans la première, les plantes sont cultivées pendant trois semaines sur solution nutritive avec ou sans NaCI (0 à 200 mM). Dans la seconde, les cultures sont conduites, jusqu'à la maturation des fruits, dans des pots de terre cuite remplis d'un sol ayant un niveau de fertilité voisin de celui de la station où ont été prélevées les graines. Les plantes sont irriguées, une à deux fois par semaine, avec une eau de ville contenant les mêmes doses de sel que la solution nutritive.

Aux premiers stades de développement, NaCI, à partir de 100 mM, resteint la production de MS, chez les quatre espèces. Cet effet est plus en relation avec la baisse de l'efficience d'assimilation nette qu'avec la réduction de la surface foliaire. Le sol limite également l'absorption de K+ et de Ca^{2+} mais non celle de NO_3- et de H_2PO_4-. Néanmoins chez les espèces qui maintiennent une production de MS reltivement élevée (M. *ciliaris* et M. polymorpha), cette baisse de la performance des systèmes d'absorption est en partie composée par une meilleure efficience d'utilisation de ces deux nutriments, notamment pour la croissance des feuilles.

Au stade de la reproduction, le sol diminue spécifiquement la production des organes reproducteurs : 1 g de biomasse des parties aériennes à la floraison produit 2 à 10 fois moins de graines chez les plantes soumises au stress salin. Le poids individuel des graines ainsi que leur viabilité sont, par contre, très faiblement affectés.

En dépit de leur origine (bordure de sebkha), les Medicago étudiés se sont révélés relativement sensibles à la salinité : ils présentent des caractères évidents de glycophytes. L'étude présente, néanmoins, quelques critères physiologiques qui peuvent être utilisés pour identifier les espèces qui présentent une bonne aptitude à peupler les zones à salinité modérée.

INTRODUCTION

La salinité limite la production agricole (Boyer, 1982; Hasagawa et *al,* 1986). Elle affecte plus de 950 millions d'hectares, l'équivalent de trois fois la superficie des terres cultivées (Epstein, 1980; Epstein et *al.*, 1980). Dans les régions semi-arides, les facteurs naturels (température, sécheresse et pauvreté des sols) accentuent davantage ce phénomène (Mass et Hoffman, 1977; Epstein, 1980). Ainsi près de 15 millions d'hectres sont affectés par la salinité dans le Maghreb et Moyen Orient (Le Houérou, 1986), dont environ 1/6 sont occupés par des chotts et sebkhas colonisés par des halophytes. Ces plantes à feuilles succulentes ne représentent pas une ressource

pastorale réelle, tout au moins pour les ovins, propablement parce qu'elles sont très chargées en sel. Par exemple, dans les parties aériennes de l'*Halocnemum strobilaceum*, qui colonise les zones les plus salées (plus de 60 $mS.cm^{-1}$), la charge ionique est excessive, et qualitativement déséquilibrée : NaCI représente 15 à 30 % de la matière sèche (MS), et K+ seulement 1 % (Smiti 1987), ce qui correspond à une concentration ionique moyenne dans l'eau des tissus de 1,5 à 3 M. A titre de comparaison, les luzernes contiennent 10 fois moins de NaCI, mais 4 à 5 fois plus de K+, et la concentration ionique globle y reste de l'ordre de 0,4 M (Abdelly 1992).

Dans le cas des périphéries de sebkhas, où le niveau de salinité varie fortement suivant les horizons, les halophytes cohabitent avec diverses annuelles, qui sont bien appréciées par le bétail. En bordure de la sebkha d'Enfidha (étage bioclimatique semi aride inférieur à hiver doux), ces plantes annuelles composées essentiellement de Medicago peuvent produire jusqu'à 40 % de la production primaire de l'écosystème. La part des prélèvements de N, P, K qui revient à ces plantes est également importante (Abdelly, 1993). Dans le but de préciser les traits physiologiques qui permettent à ces plantes de coloniser les bordures des sebkhas, nous les avons soumises, dans des conditions contrôlées, aux stress caractéristiques de leur biotope. Nous présentons dans cette étude leur réaction à la contrainte saline.

MATERIEL ET METHODES

Conduite des cultures

Les expériences ont porté sur 4 espèces de *Medicago, M. ciliaris, M. polymorpha, M. trucatula et M. minima*. Les plantes sont cultivées, jusqu'à la maturation des fruits, dans des pots de terre cuite remplis d'un sol ayant un niveau de fertilité voisin de celui de la station où ont été prélevées les graines. Les plantes sont irriguées, une à deux fois par semaine, avec une eau de ville additionnée de 0,6 ou 9 $g.l^{-1}$ de NaCI. Les cultures sont conduites sous serre vitrée, la température et l'humidité relative sont en moyenne de 26°C et 50 % le jour et 20°C et 70 % la nuit. Deux récoltes sont faites. La première, au début de la floraison, correspond à la production maximale de matière sèche. La seconde, à la maturation des fruits, permet d'estimer le rendement en graines. D'autres expériences ont porté sur des plantes cultivées en milieu hydroponique sur une solution de base de Long Ashton modifiée (Hamza, 1977). Après 3 semaines, une partie des plantes est transférée sur milieux additionnés de NaCI (6 ou 12 $g.l^{-1}$). La récolte a lieu 3 semaines plus tard.

Mesures

Les masses de matière sèche (MS) sont mesurées après 48 h à l'étuve à 80°C. La croissance moyenne relative (CMR) entre deux prélèvements à t_1 et t_2 est calculée par :

$$CMR = (MS_2\text{-}MS_1)/MS\ (t_2\text{-}t_1)$$

avec $MS = (MS_2\text{-}MS_1)/In(MS_2/MS_1)$ (moyenne logarithmique) (Hunt, 1990). Les surfaces foliaires sont mesurées par découpage et pesée des images des feuilles photocopiées. L'indice de surface foliaire ISF est la surface foliaire par plante ramenée à la biomasse des feuilles ($cm^2.g^{-1}MS$). L'efficience d'assimilation photosynthétique nette EAN est obtenue en ramenant la vitesse moyenne de production de matière sèche entre t_1 et t_2 à la surface foliaire moyenne sur cet intervalle :

$$EAN = (MS_2\text{-}MS_1)/SF(t_2\text{-}t_1)$$

où $SF = (SF_2\text{-}SF_1)/In\ (SF_2/SF_1)$.

Les dosages de Na+, K+, Ca2+ sont faits sur des échantillons d'organes réduits en poudre fine en émission de flamme (Eppendorf) sur le produit d'une extraction à HCI 0,5 %. L'azote réduit a été déterminé selon la méthode de Kjeldahl.

RESULTATS ET DISCUSSION

Croissance

Les mesures de croissance (production de MS et surface foliaire) sont faites juste avant la floraison, au bout de 45 jours de traitement par NaCl. Pour une espèce donnée, la quantité de matière sèche déterminée à la récolte finale dépend aussi bien de la vigueur des plantes au moment de l'addition du sel que de l'activité de croissance pendant le traitement. La croissance moyenne relative (CMR), qui exprime la production de biomasse par g de MS, permet d'isoler le second facteur en évaluant l'importance du ralentissement de l'activité de croissance sous l'effet du sel (Fig. 1). L'irrigation avec la solution T6 ne restreint pas la production de MS chez M. ciliaris, elle l'inhibe de 20 % chez *M. minima*, et elle a un effet intermédiaire chez les deux autres médics. Avec la solution T9, *M. ciliaris* est la plus affectée, et c'est *M. polymorpha* qui résiste le mieux.

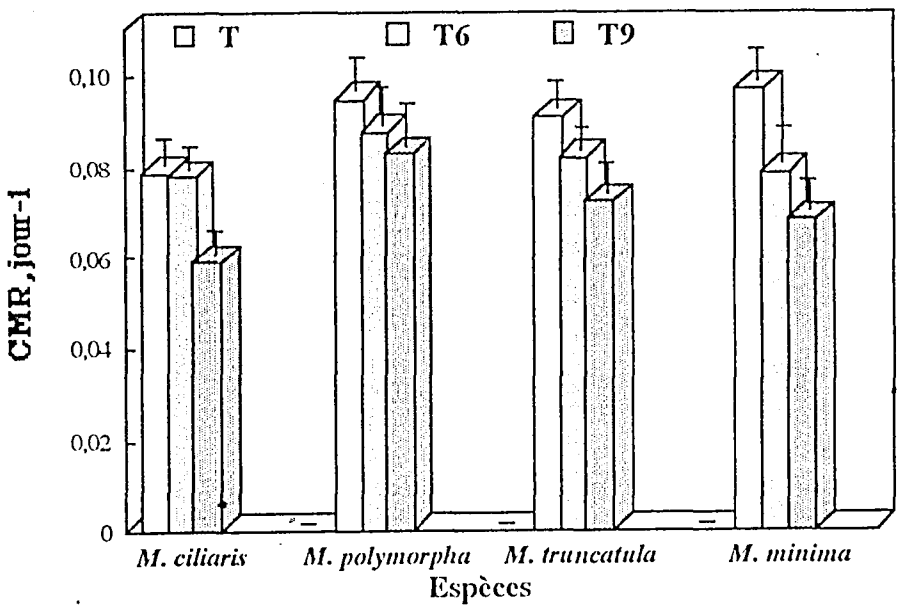


Figure 1 - Effets de NaCl sur la croissance. Les plantes sont cultivées en pots, irrigués avec les solutions T, T6 et T9. CMR désigne la croissance moyenne relative (g MS produits par jour par 1 g de MS)

La réduction de la production de MS correspondant à une diminution du nombre des feuilles par plante, de la surface foliaire et vraissemblablement de l'activité photosynthétique. Pour identifier le facteur le plus impliqué dans ce phénomène, nous avons calculé l'efficience d'assimilation (photosynthétique) nette (EAN) et l'indice de surface foliaire (ISF). L'EAN est la vitesse de production de biomasse par cm2 de feuilles, et l'ISF est la surface foliaire associée à 1g MS totale de plante. La CMR correspond généralement au produit de ces deux paramètres (Hunt, 1990). La CMR est raisonnablement corrélée positivement avec l'EAN sur milieu témoin comme en présence de NaCl. Par contre, elle est faiblement corrélée négativement avec l'ISF, surtout en présence de NaCl (Fig. 2, exemple de *M. polymorpha* et *M. ciliaris*, résultats valables pour les deux autres espèces). Par ailleurs, la corrélation entre la CMR et l'EAN est plus forte chez les plantes cultivées en présence de NaCl que chez les plantes cultivées sur milieu témoin. En effet pour une espèce donnée le coefficient de corrélation de la CMR avec l'EAN est plus élevé en présence de NaCl (r^2 = 0,89; 0,80; 0,78; 0,31 respectivement pour *M. polymorpha; M. ciliaris; M. truncatula; M. minima*) qu'en son absence (r^2 = 0,78; 0,39; 0,44; 0,16). *En résumé,*

cette analyse montre que les réductions des valeurs de la CMR en conditions de salinité sont attribuables à une diminution de l'efficacité du fonctionnement de la photosynthèse plutôt qu'à une restriction de la surface foliaire.

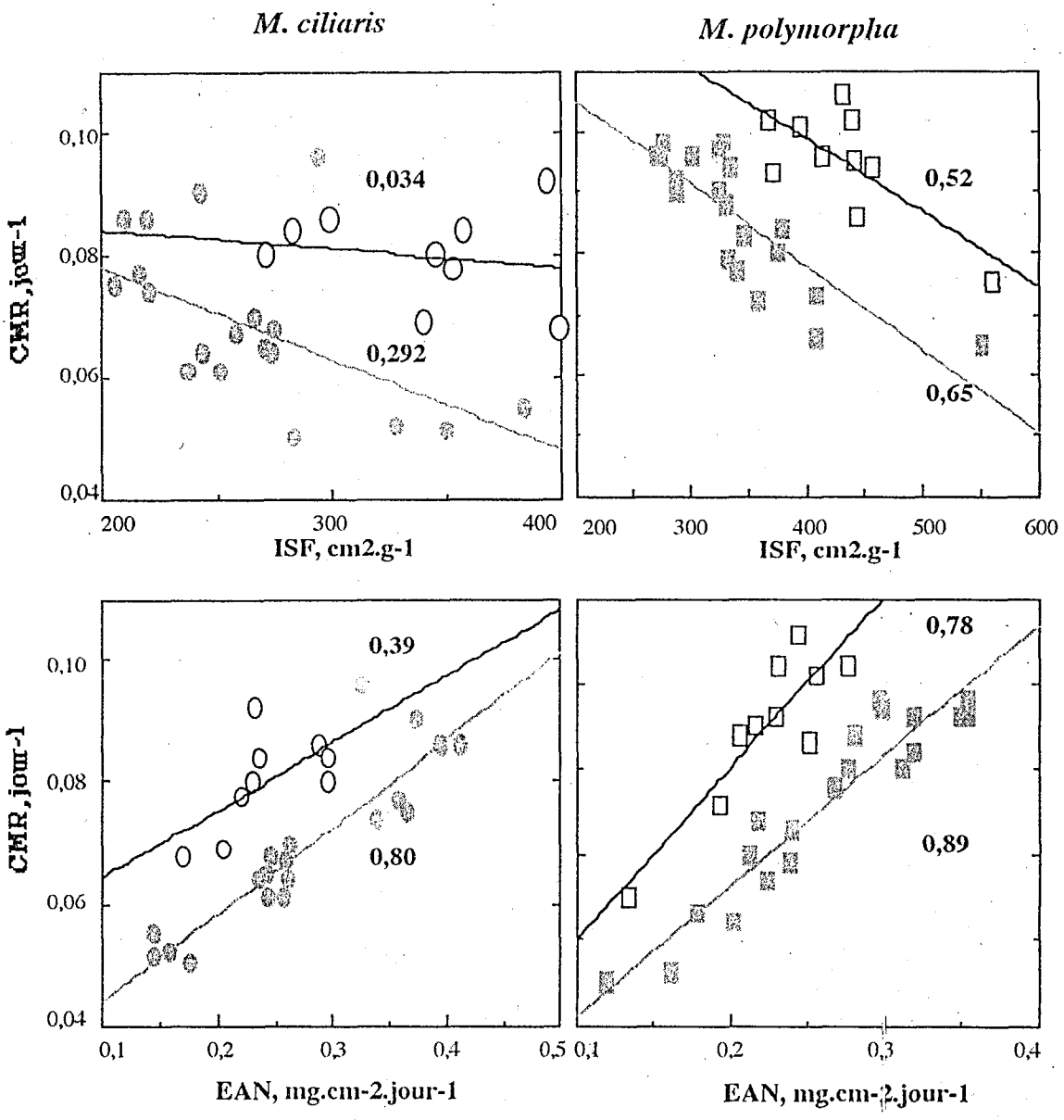


Figure 2 - Relation entre la croissance et la surface foliaire. Les plantes sont cultivées en pots irrigués avec une solution T (symboles ouverts) ou des solutions T6 ou T9 (symboles noirs). Les nombres sont les coefficients de corrélation associés aux droites de régression linéaire. A gauche M. ciliaris, à droite M. polymorpha. CMR : croissance moyenne relative; ISF : indice de surface foliaire, EAN : efficience d'assimilation nette.

Accumulation de Na+

Le sodium est fortement accumulé dans tous les organes des quatre *Medicago* cultivées en milieu hydroponique en présence de NaCl. Les teneurs atteintes dans les parties aériennes sont de l'ordre de 1 à 2 mol.g^{-1} MS sur les milieux contenant NaCl 6 et 12 g.l^{-1} (100 et 200 mM).

(Fig. 3). Ces valeurs sont 4 à 8 fois supérieures à celles que l'on observe chez les mêmes plantes récoltées dans leurs milieux naturels (non montré).

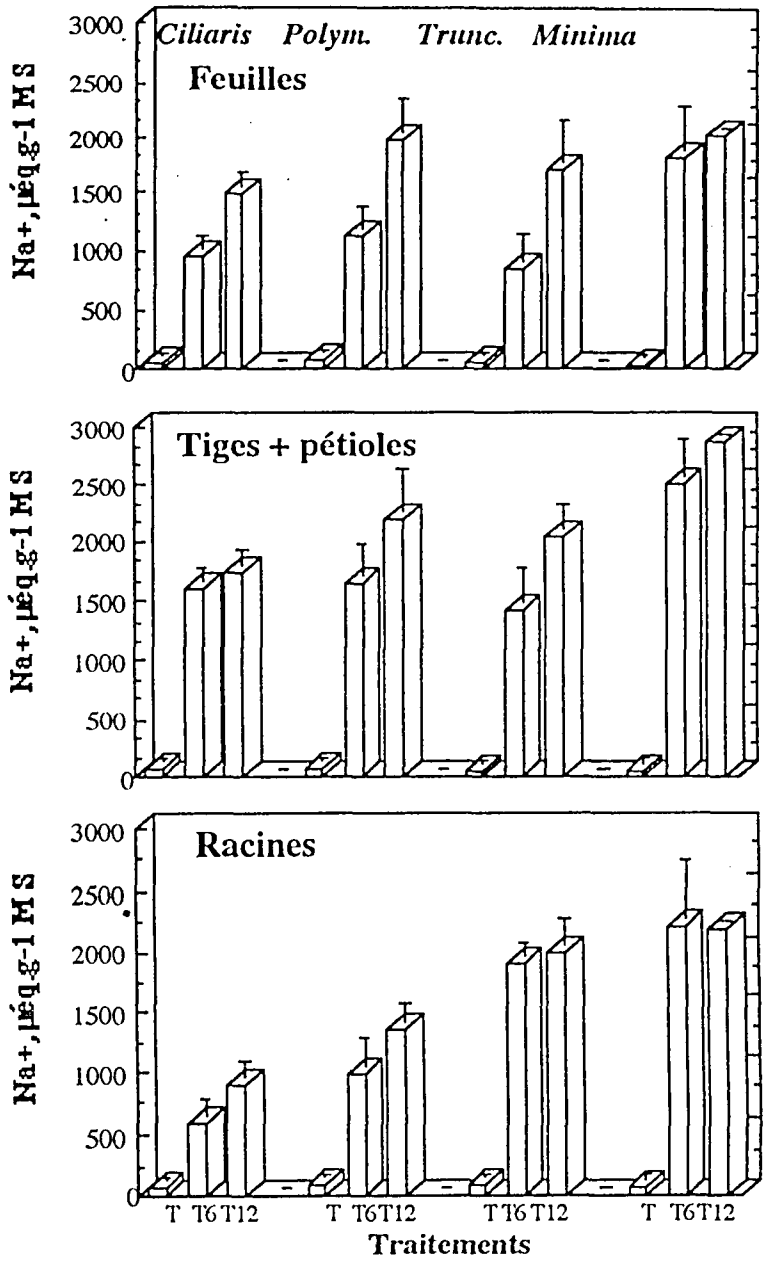


Figure 3 - Accumulation de Na + dans les différents organes de *Medicago*. Les plantes sont cultivées pendant trois semaines en milieu hydroponique sans NaCl (T), puis une partie d'entre elles reçoivent NaCl 100 mM (T6) ou 200 mM (T12) pendant 3 autres semaines. Moyennes et intervalles de sécurité au seuil de 95 %.

Absorption de K^+ et de Ca^{2+}

Le prélèvement de K^+ et de Ca^{2+} est diminué chez toutes les plantes lorsque le milieu contient NaCl (non montré). Pour préciser les différences entre les quatre espèces, nous avons calculé l'efficience d'absorption de K^+ et de Ca^{2+} (Fig.4). Ce paramètre, qui traduit l'efficacité du système racinaire pour absorber un nutriment donné, est estimé en ramenant les quantités totales prélevées par la plante à la masse de son système racinaire. Ce paramètre est fortement diminué

par NaCl. Néanmoins, la comparaison des effets de NaCl sur les quantités absorbées (JMR) et sur l'efficacité d'absorption (Fig.5) montre clairement que les baisses de consommation de K^+ et de Ca^{2+} ne sont pas dues uniquement à la diminution des performances des systèmes d'absorption chez *M. truncatula* et *M. minima*. la réduction de la masse du système racinaire est un facteur important de la restriction de l'alimentation potassique et calcique des deux plantes. En effet, chez ces deux espèces, les baisses de consommation sont beaucoup plus importantes que celles de l'efficience d'absorption. Chez *M. ciliaris* et *M. polymorpha*, par contre, le sel induit des baisses de consommation et d'efficience d'absorption de même ordre de grandeur (bien que les premières excédent légèrement les secondes). Par conséquent, la diminution de prélèvement de K^+ et de Ca^{2+} en présence de NaCl s'explique surtout par une baisse de la performance des systèmes d'absorption.

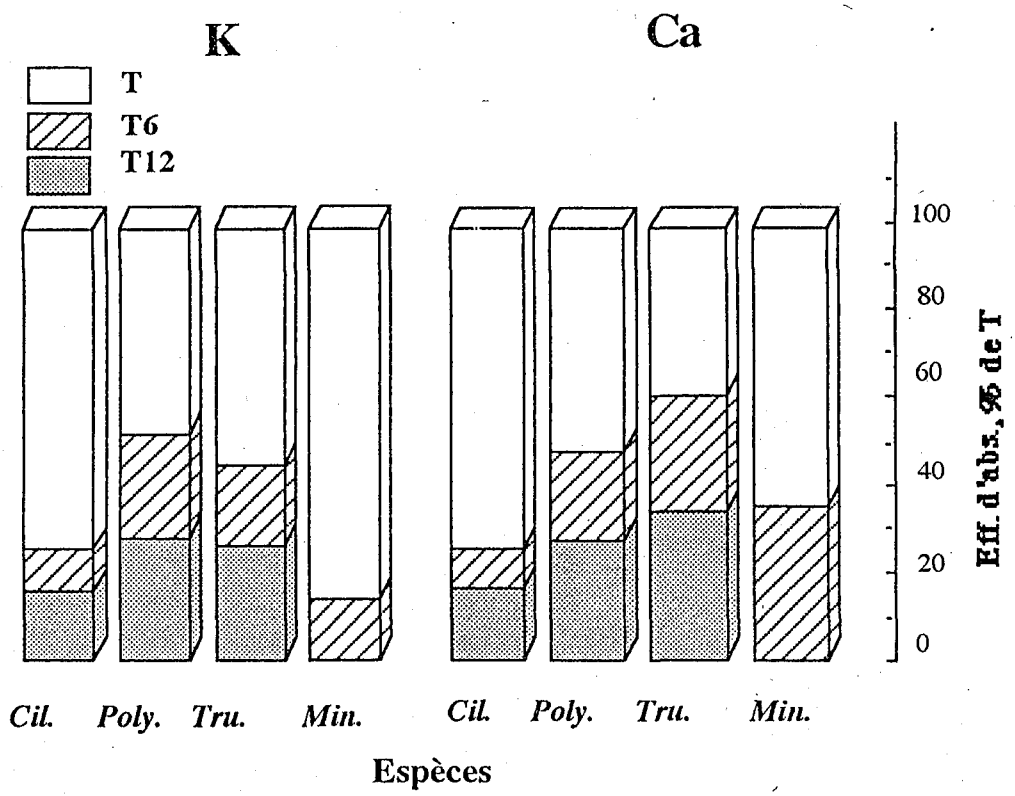


Figure 4 - Variations de l'efficience d'absorption des nutriments (K, Ca) en fonction des traitements. L'efficience d'absorption d'un nutriment est calculée en ramenant les quantités prélevées au cours du traitement par la plante entière (JMR) à la masse moyenne de son système racinaire (MS moy. = M2 - m1/LnM1, M1 et M2 étant les masses du système racinaire respectives à la récolte de départ et à la récolte finale). Les valeurs de ce paramètre sont exprimées en % de celles des plantes cultivées sur milieu dépourvu de NaCl.

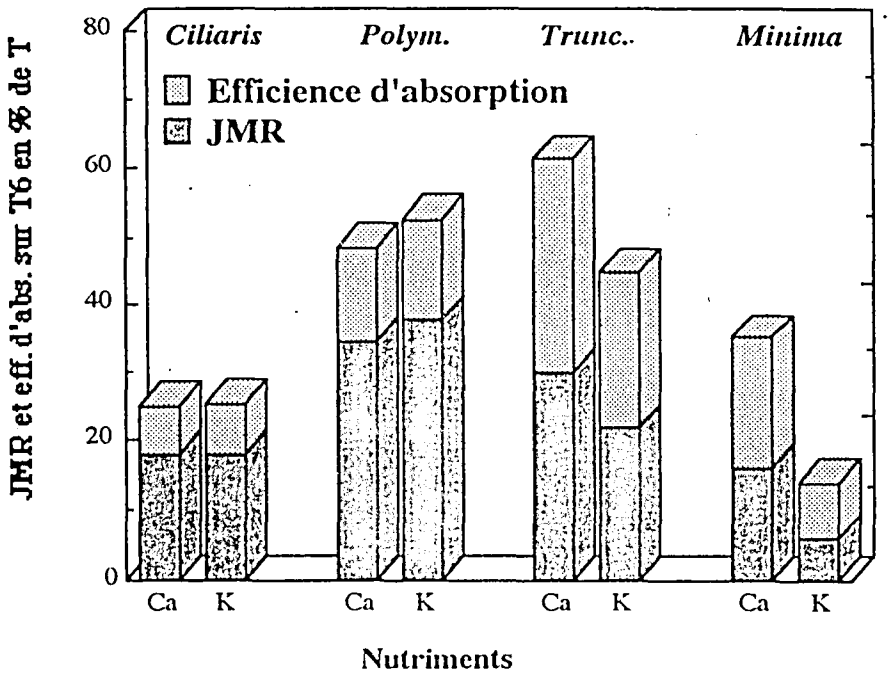


Figure 5 - Effet de NaCl (6 g.1-1) sur le flux (JMR) et l'efficience d'absorption de K+ et Ca2+. Résultats exprimés en % de T.

Utilisation de K+ et de Ca2+

Les efficiences d'utilisation de K^+, Ca^{2+} pour la croissance des plantes entières, qui expriment le rendement d'utilisation c'est à dire les quantités de matière sèche produite par unité de nutriment absorbé (mg MS. umol-1), sont représentées sur la figure 6. Pour K^+, elles sont augmentées en présence de NaCl (ce qui traduit la capacité de Na^+ de remplacer une partie de K^+ pour supporter la croissance), et elles ont des valeurs semblables chez toutes les plantes. Toutefois, les efficiences d'utilisation de K^+ pour les seules feuilles (Fig.6) permettent de différencier M. *ciliaris* et *M. polymorpha*, (chez qui NaCl permet une économie de K^+) de M. *truncatula* et *M. minima* (chez qui la production de 1 g de MS de feuilles exige autant de K^+ sur milieu T et sur milieu enrichi en NaCl.

Le même type d'analyse, appliqué à Ca^{2+}, conduit à des conclusions analogues : en présence de NaCl, la croissance des plantes entières nécessite des quantités plus faibles de ce cation (Fig.6). Cet effet d'économie de Ca^{2+} n'est bien marqué que chez *M. ciliaris* et *M. polymorpha* et il est essentiellement une propriété de leurs feuilles.

En considérant les comportements sur T6, on peut résumer les résultats de la façon suivante :

M. ciliaris et M. polymorpha sont les espèces qui tolèrent le mieux ce stress au niveau de la croissance des plantules. Chez elles, les restrictions de la croissance sont dues plutôt aux baisses des performances de certains systèmes d'absorption (K+ et Ca2+).

La croissance des feuilles sur milieu salé étant moins exigeante en K^+ et Ca^{2+} (augmentation d'efficience d'utilisation), les plantes conservent une capacité de production de biomasse relativement élevée (2/3 de celle des témoins). La répartition des assimilats entre les racines et les parties aériennes n'est pas affectée par le sel, ce qui suggère que les plantes ne sont pas en état de stress nutritionnel. La très forte réduction de la croissance des racines (bien qu'elles conservent une efficience d'absorption très voisine de celle des deux espèces précédentes) et la faible efficience d'utilisation des nutriments paraissent être les raisons de la sensibilité de M. truncatula et M. minima. Ces dérèglements sont peut être causés par l'accumulation excessive de Na+, surtout chez M. minima.

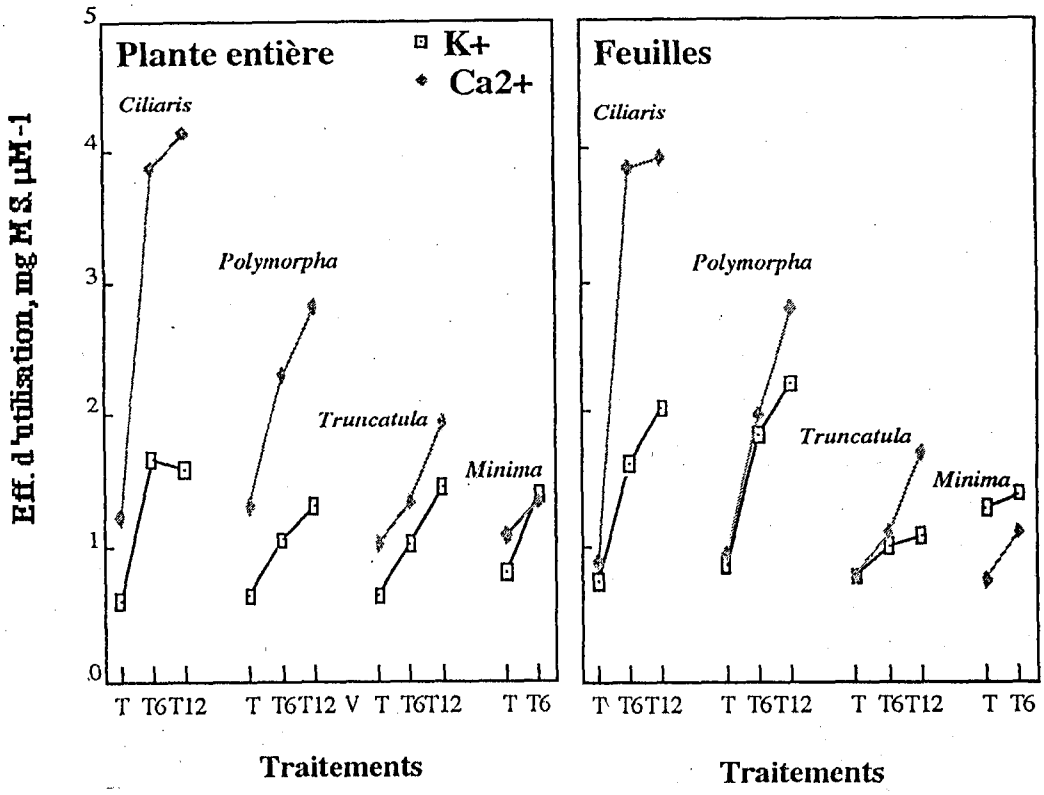


Figure 6 - Effet de NaCl sur l'efficience d'utilisation des éléments. Ce paramètre représente la quantité de MS produite par unité d'élément utilisé.

Production des graines et viabilité

Chez les 4 *Medicago*, le sel diminue spécifiquement la production d'organes reproducteurs. En effet, l'indice de récolte, défini par la masse des gousses à maturité rapportée à la masse des parties aériennes à la floraison, est fortement affecté par la salinité (Fig.7). Il est diminué de moitié en présence de NaCl 6 $g.l^{-1}$, et de 5 à 10 fois en présence de NaCl 9 $g.l^{-1}$. Le sel ne modifie pas la masse individuelle des graines (Fig. 7, encart), mais il diminue fortement leur nombre par plante. Cette diminution résulte uniquement de la baisse du nombre de gousses, le nombre de graines par gousse n'étant pas diminué en général.

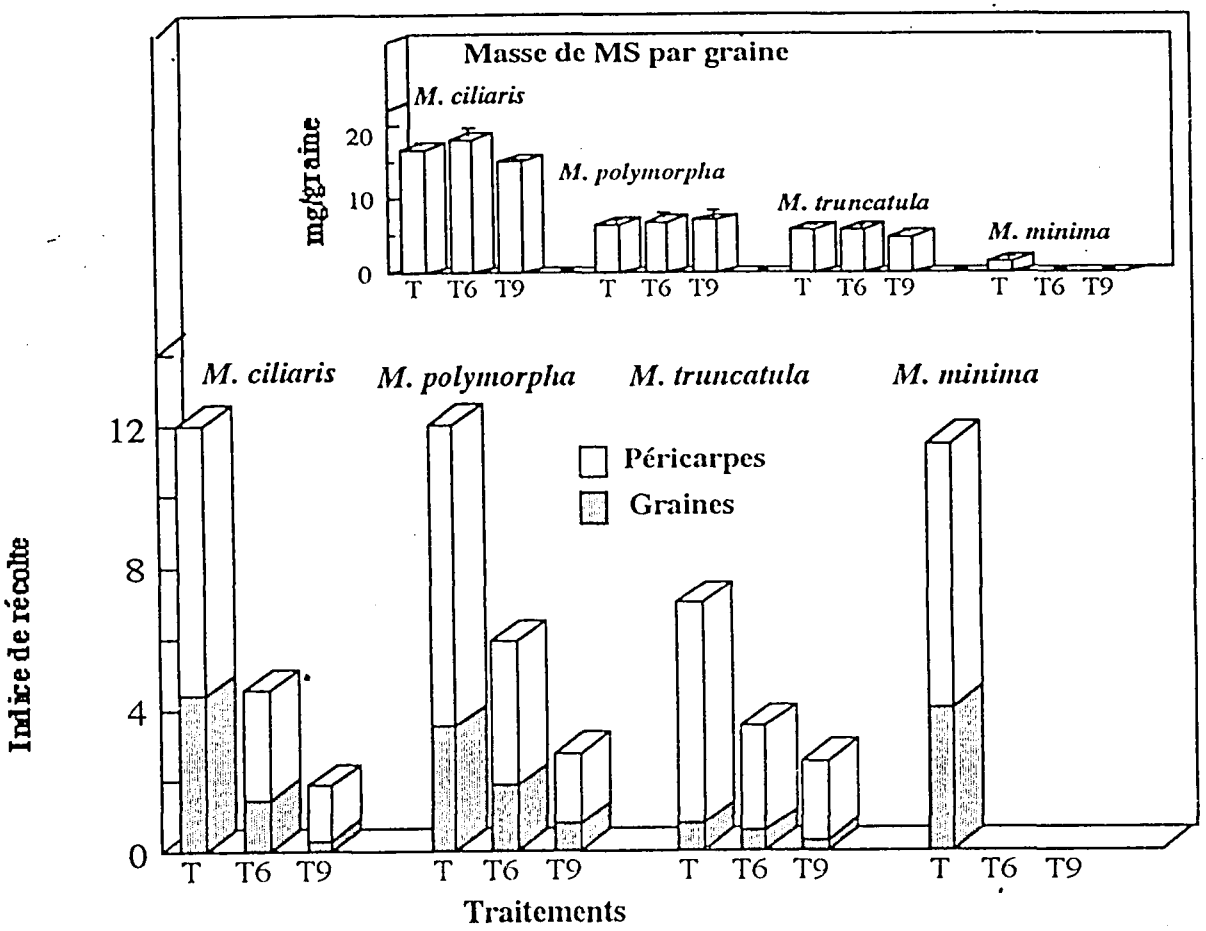


Figure 7 - Production des graines. L'indice de récolte est la masse de MS de gousse ou de graines (grisé) à maturité par g. de MS de parties aériennes à la floraison. Encart : masse de MS indivuelle des graines. Les plantes sont cultivées en pots irrigués avec les solutions T, T6 ou T9.

Nous avons observé que les graines récoltées sur le terrain conservent une forte capacité germinative pendant plusieurs années (au moins 6 ans). La viabilité des graines récoltées au laboratoire (expérience décrite ci-dessus) est estimée par leur capacité germinative maximale à 25°C sur eau distillée. Le produit de ce paramètre par le nombre de graines par plante permet d'estimer la potentialité de reproduction de chaque espèce (Fig. 8) *M. minima* ne semble pas pouvoir se reproduire en l'absence d'épisode de dessalement de son milieu, car elle ne produit pas de graines en milieu salé (NaCl 6 $g.l^{-1}$). Par contre, elle semble avoir un avantage important en absence de sel puisque notre analyse lui prévoit une descendance (nombre théorique de germinations) 2 à 6 fois plus nombreuse que celle des autres espèces. En présence de sel, l'avantage reproductif revient à *M. polymorpha*. Le dénombrement des *Medicago* permet d'estimer la capacité de multiplication réelle de ces plantes dans leur environnement naturel, qui est de l'ordre de 5 à 10 descendants par plante (non montré). Cette valeur est surestimée car elle ne tient pas compte de la germination des graines des générations précédentes qui auraient séjourné un an ou plus dans le sol avant de germer en profitant de l'année pluvieuse. Elle est très

largement inférieure à la valeur théorique maximum en absence de sel, qui est de plusieurs centaines par plante d'après le décompte des graines et la mesure de leur pouvoir germinatif (F. 8). Par contre, elle est proche *(M. ciliaris)* ou même supérieure *(M. minima)* aux prévisions sur milieu salé. Nous pouvons déduire que la dynamique de reproduction du tapis végétal des légumineuses de l'écosystème dépend du maintien de la salinité à un niveau relativement faible.

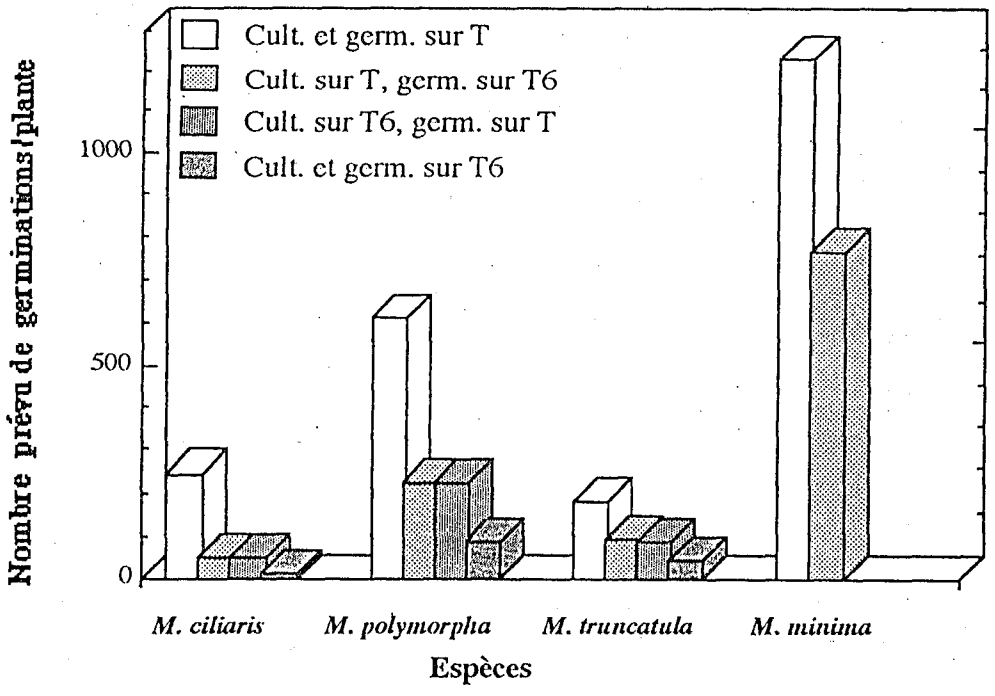


Figure 8 - Effet de NaCl sur la reproduction des *Medicago*. La potentialité de reproduction est évaluée en multipliant l nombre moyen de graines produites par plante par la capacité germinative de ces graines (% de graines capables de germer). Quatre conditions sont étudiées, différant par la présence de NaCl 100 mM (T6) ou son absence (T) dans les milieux de culture et / ou de germination.

CONCLUSION

Les relevés sur le terrain montrent qu'un tapis relativement dense de plantes annuelles peut se développer rapidement entre les halophytes pérennes en bordure de sebkha, dès lors que la pluviomètrie le permet. Ce tapis, qui est potentiellement intéressant en vue d'une exploitation de l'écoystème comme zone de pâturage, est composé essentiellement de 4 *Medicago*. Ces observations indiquent que le (micro)écosystème occupé par le tapis des légumineuses est peu agressif, bien que la présence des halophytes, et les analyses de sol, révèlent la présence de sel dans le sol. D'une part, nos études de laboratoire montrent que NaCl restreint la production de biomasse chez les 4 *Medicago*. Cet effet semble dû à une perturbation de la physiologie de la feuille, puisque la CMR semble corrélée négativement à l'indice de surface foliaire. Si la production photosynthétique nette des plantes sur milieu salé (estimée par la CMR), n'est pas corrélée positivement à la surface totale des organes photosynthétiues, on doit conclure qu'une fraction des feuilles ne participe pas efficacement à la production de biomasse quand la plante

est agressée par le sel. D'autre part, l'opposition entre les faibles teneurs en Na^+ des parties aériennes des *Medicago* récoltés dans leur biotope (non montré), et les fortes accumulations de ce cation quand il est abondant dans le milieu de culture hydroponique (Fig. 3), est l'indice que les racines de ces plantes exploitent des horizons peu salés. L'hétérogénéité de la végétation de la station, où coexistent halophytes et glycophytes, pourrait s'expliquer par la stratification des systèmes racinaires des plantes halophiles, seules à exploiter les horizons les plus profonds et les plus salés, et des systèmes racinaires des annuelles, qui prolifèrent dans les zones superficielles moins salées. Les halophytes pourraient également favoriser le maintien de l'horizon superficiel peu salé, par désalinisation (Zhao, 1991) par leurs racines superficielles.

La fertilité relative de cet horizon pourrait être permise par les faibles exigences de ces plantes à croissance lente, et par leur capacité de remobiliser ou restituer au sol les nutriments minéraux de leurs organes desséchés. Ces facteurs favorisent le développement rapide d'un tapis d'annuelles peu résistantes au stress salin mais très performantes dans l'acquisition des ressources minérales dès que les ressources en eau le permettent. Ces espèces investissent fortement dans le développement reproducteur quand les conditions sont favorables (Fig. 7), et produisent des graines capables de conserver leur capacité germinative plusieurs années. Ce comportement est typique de la stratégie écologique dite "rudérale" (Grime, 1977), qui caractérise les plantes colonisant les milieux offrant un niveau élevé de ressources, mais présentant une forte probabilité de risque accidentel, comme ici la sécheresse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDELLY C., 1992 - Réactions aux contraintes nutritionnelles des principales herbacées du tapis végétal en bordure de sebkha. Thèse de spécialité, Université de Tunis, 252p.

ABDELLY C., ZID E., HAJJI M. & GRIGNON C., 1993 - Biomass production and nutrition *of Medicago species associated to halophytes on the edge of a sebkha in Tunisia. Actes de la Conférence Internationale "The use of halophytes in agriculture.* IAV Hassan II Agadir, 12-26 septembre 1993, 339-355.

BOYER, J.S., 1982 - Plant productivity and environment. Science., 218, 443-448.

EPSTEIN E., 1980 - Responses of plants to saline environments. *In : Genetic engineering of osmoregulation : Impact on Plant productivity for food, chemicals, and Energy* D.W. Rains, R.C. Valentine, A. Hollaender eds. Plenum, New York and London, 7-21.

EPSTEIN E. , NORLYN J.D. , RUSH D.W., KINGSBURY R. W., KELLEY, D.B., CUNNINGHAM G.A. & WRONA A.F., 1980 - Saline culturel of crops : a genetic approch. Science, 210, 399-404.

GRIME, J.P., 1977 - Evidence for existence of three primary strategies in plants and its relevance *to ecological and evolutionary theory. Amer. Naturalist,* 111, 1169-1194.

HAMZA M., 1977 - Action de différents régimes d'apport de chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) *et Hedysarum carnosum* (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse de Doctorat d'Etat, Paris, 252p.

HASEGAWA, P.M., RAY A. BRESSEN & AUTAR K. HANDA; , 1986 - Cellular mechanisms of salinity tolerance. Hort Science, 21 (6), 1317-1324.

HUNT, R., 1990 - Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, London, 112 p.

LE HOUEROU H.N., 1986 - Salt tolerant plants of economic value in the mediterranean Basin. *Reclamation and revegetation Research*, 5, 319-341.

MASS, E.V., HOFFMAN, G.E., 1977 - Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig *and Drainage Div.*, ASCE, 103 (IR2), 115-134.

SMITI S., 1987 - Comportement physiologique de l'*Halocnemum strobilaceum* (Pall) M. Bied. Effet de la salinité et de l'immersion. Thèse de spécialité, Université de Tunis, 165 p.

ZHAO, K.F., 1991 - Desalinization of *saline soils by suaeda salsa. Plant Soil* 135, 303-305.

(INDA 017

LES PREMIERES JOURNEES SCIENTIFIQUES DU C.R.G.R
EFFET DE NaCI DANS LE MILIEU DE CULTURE SUR L'ACIDIFICATION RACINAIRE INDUITE PR LA DEFICIENCE EN FER CHEZ LE TOURNESOL

Mohamed GHARSALLI*, Mokhtar HAJJI et Claude GRIGNON*****

*Laboratoire de Nutrition Minérale, I.N.R.S.T., B.P. n° 95, 2050 Hammam-Lif, Tunisie

**Faculté des Sciences de Tunis Campus Universitire, 1060 Tunis.

***Laboratoire de Biochimie et Physiologie Végétales, ENSA-INRA, 34060, Montpellier, Cedex 1 France.

RESUME

L'acidification du milieu par les racines de tournesol a été étudiée chez des plantes déficientes et des plantes témoins qui sont cultivées pendant 15 jours sur des milieux liquides enrichis en NaCI (0,50 et 100 mM).

En absence de sel (0 mM NaCI) , la déficience en fer induit chez de jeunes plants de tournesol une forte acidification racinaire (la vitesse d'excrétion de H+ augmente de plus de 70 % par rapport au témoin). L'étude in vivo de l'effet du vanadate sur l'excrétion de H+ suggère l'existance de deux composantes d'émission de H+ : une composante d'acidification de base sensible au vanadate chez les plantes témoins et les plantes déficientes et une composante insensible au vanadate chez les plantes déficientes qui est induite par la déficience en fer.

La présence du sel dans le milieu à la concentration 50 mM réduit la vitesse d'excrétion de H+ à sa valeur chez le témoin (plantes non déficientes poussant sur milieu sans sel) alors qu'elle n'affecte pratiquement pas celle des plantes non déficientes en fer. Le sel à 100 mM n'entraîne qu'une légère diminution supplémentaire de l'excrétion de H+.

Il semble ainsi que NaCI affecte davantage la pompe à protons induite par la déficience en fer.

INTRODUCTION

Chez les plantes appelées fer-efficaces, la déficience ferrique induit une augmenttion de l'acidification du milieu (Rômheld et Marschner, 1981, Rômheld et al., 1984 De Vos et al., 1986) et une capacité racinaire accrue de réduction du fer chélaté (Bientfait et Luttge, 1988; Buckhout et al. 1989; Bruggemann et al. 1990) conduisant à une meilleure disponibilité de cet élément dans la rhizosphère (Marschner et al., 1986; Rômheld et Marschner, 1986). Ce qui permet à la plante de s'en alimenter assez correctement quand elle est sur un milieu où le fer est insoluble ou précipité, situation très fréquente à laquelle sont assez souvent confrontés les végéteaux.

Nous nous proposons dans le présent travail d'étudier chez le tournesol l'effet du sel (NaCI) dans le milieu de culture sur les réponses habituellement induites par la différence en fer. Le but étant de se faire une idée sur l'adaptation à la déficience ferrique des plantes fer-efficaces en cas de leur irrigation avec des eaux plus au moins chargées en sel. Ce qui est réellement le cas de nos eaux d'irrigtion surtout pendant les périodes de forte chaleur où la concentration de NaCI dans ces eaux peut atteindre 2 à 3 g. l^{-1} (Slama et Bouzaidi, 1977).

MATERIEL ET METHODES

Dès la germination, des plants de tournesol sont divisés en deux groupes et cultivés pendant 3 semaines dans des conditions similaires à celles décrites par Gharsalli et al., 1991, l'un en absence de fer (groupe 1) et l'autre en sa présence (groupe 2). A l'âge de 8 j les plantes de chaque groupe sont réparties en 3 lots qui vont pousser pendant 15 j chacun sur un milieu ayant une concentration donnée en NaCl (0,50 ou 100 mM). Les milieux nutritifs sont renouvelés deux fois par semaine. Leur pH est mesuré quotidiennement. La vitesse d'excrétion de H+ pour chaque lot est déterminée, à l'âge de 8, 15 et 22 j autrement dit au début, après une et deux semaines d'application de NaCl, selon la méthode décrite par Gharsalli et al., 1991. La mesure de la réduction de Fe (III) EDTA est faite à la récolte finale (à l'âge de 22 j) (Gharsalli et al., 1991).

RESULTATS ET DISCUSSION

Croissance et aspect morphologique des plantes

Après deux semaines de culture, la déficience en fer ralentit la croissance des feuilles et n'affecte que très peu celle des racines (Fig. 1) Cet effet est plus marqué sur la morphologie de ces organes.

L'absence du fer dans le milieu se traduit généralement au niveau des racines par un renflement jaunâtre des apex très caractéristique de la déficience ferrique et également par un

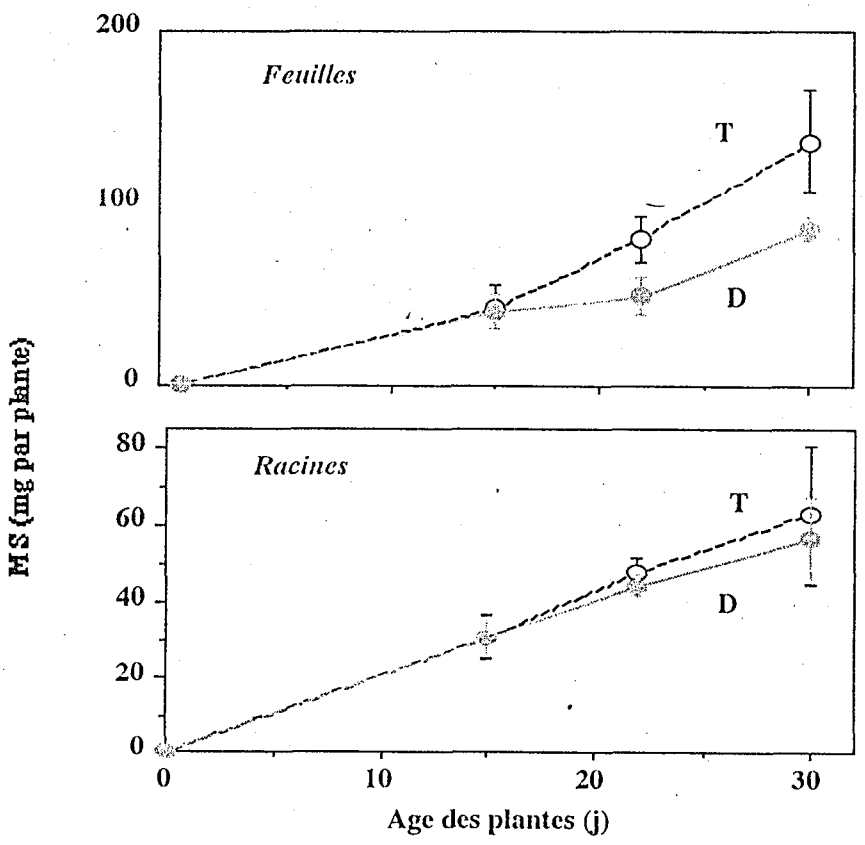


Figure 1 - Croissance de jeunes plants de tournesol. D : plantes déficientes en fer cultivées sur milieu nutritif sans fer. T : plantes témoins, cultivées sur milieu nutritif contenant du fer. Moyennes de 12 plantes et intervalle de sécurité au seuil de 5 %.

jaunissement des feuilles jeunes commençant au niveau de leur base et s'étalant par la suite sur la totalité de la feuille. En cas de déficience excessive, il peut conduire à des nécroses foliaires.

Les symtômes morphologiques causés par la déficience en fer (renflement jaunâtre des apex racinaires et jaunissement des feuilles jeunes) qui apparaissent chez les plantes cultivées sur un milieu déficient en fer sont ceux qui s'observent chez les plantes cultivées sur milieu déficient en fer et contenant du sel, avec toutefois un retard de leur apparition chez ces dernières. Ce retard est surtout évident pour la culture sur milieu à 100 mM NaCl. Le retard d'apparition des symptômes morphologiques de déficience ferrique chez les plantes cultivées sur milieu salés déficients en fer s'explique par la diminution de croissance qui est un effet du sel bien connu (Zid, 1974; Hamza, 1977; Hajji, 1979; Slama, 1982; Soltani et al., 1990). La plante croît plus lentement sur milieu salé que sur milieu sans sel; quand elle est cultivée sur milieu contenant du

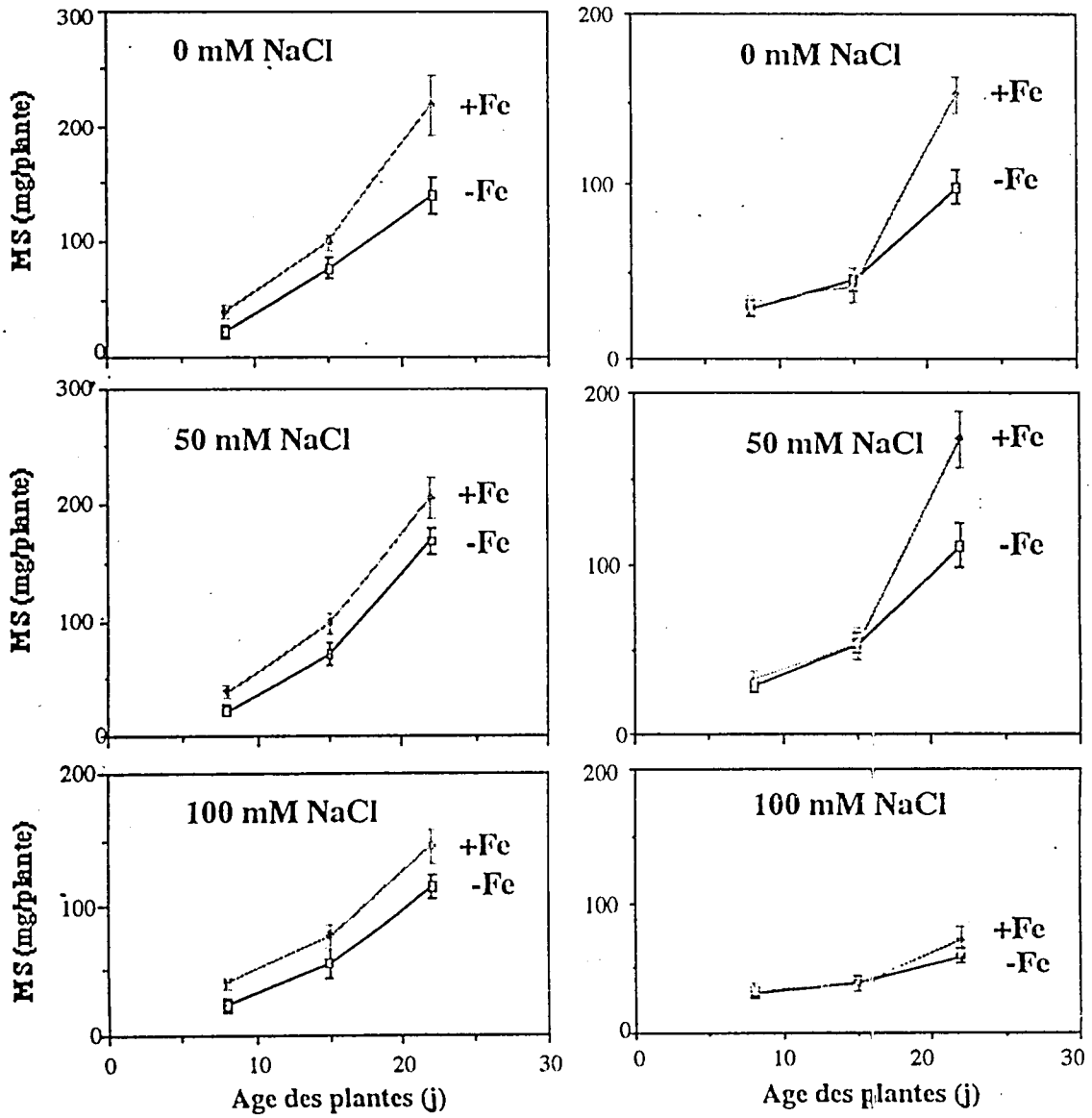


Figure 2 - Croissance des feuilles (à gauche) et des racines (à droite) de tournesol sur milieux déficients et non déficients en fer, en présence de diverses doses de NaCl.

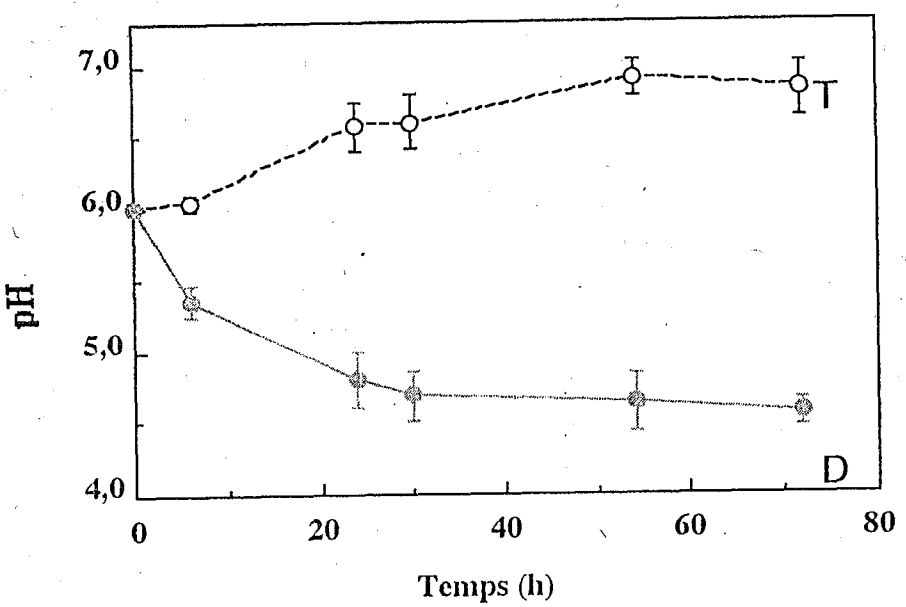


Figure 3 - Variation du pH des milieux de culture. Des plantes âgées de 3 semaines sont transférées sur des milieux neufs (3 plantes par pot de 1 1). T : plantes témoins. D : plantes cultivées sur milieu sans fer. Moyenne de 12 pots et intervalle de sécurité au seuil de 5 %.

sel, elle épuise ses réserves en fer emmagasinées dans les cotylédons plus tardivement que lorsqu'elle est cultivée sur milieu non salé.

La croissance des feuilles est diminuée par la déficience en fer en présence comme en absence de NaCI dans le milieu (Fig. 2). Cependant l'effet inhibiteur sur la croissance foliaire est moins accentué pour la culture sur sel. A 50 mM NaCI la croissance des racines n'est pas affectée par la déficience jusqu'à l'âge de 22 jours (Fig. 2). A 100 mM NaCI les différences entre les deux traitements (-Fe et +Fe) sont très faibles.

Emission de protons

L'absorption des ions par les racines de plantes se fait en échange d'émission de protons (pour les cations) et d'hydroxydes (pour les anions). Les racines peuvent ainsi diminuer ou augmenter le pH du milieu extérieur selon l'importance de l'absorption des cations par rapport aux anions (Hoagland et Broyer, 1936 et 1940; Pitman, 1970; Soltani et al., 1989). L'utilisation d'un milieu de culture peu tamponné permet d'observer des variations du pH du milieu. La figure 3 montre bien que les plants de tournesol déficients en fer acidifient le milieu alors que les plants témoins l'alcalinisent.

Les plantes poussant sur milieux - Fe acidifient ces milieux en présence comme en absence de sel (Fig. 4). Toutefois l'acidification est ralentie par le sel. Cet effet est d'autant plus marqué que la concentration de NaCI dans le milieu est plus grande et que la période de culture sur sel est plus longue. Les plantes poussant sur milieux enrichis en NaCI et contenant du fer alcalinisent ces milieux (Fig. 5). A 100 mM NaCI, le pH reste relativement stable pendant la première semaine de culture puis il augmente. On peut penser que le ralentissement de diminution du pH des milieux salés chez les plantes déficientes en fer pourrait être dû à un important échange des

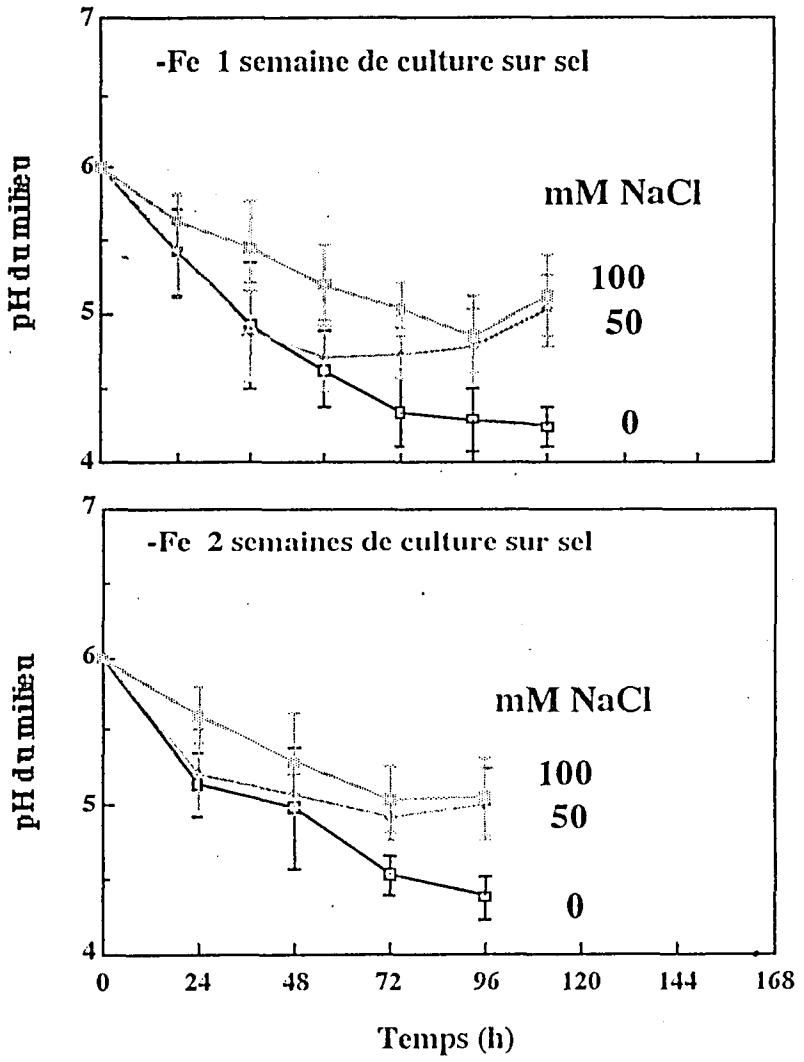


Figure 4 - Modification du pH des milieux de culture par des plantes déficientes en fer (-Fe) cultivées sur différentes doses NaCl.

ions Cl - contre des ions OH- entre le milieu et les racines et par conséquence ce ralentissement n'est pas dû à une diminution de l'émission de H^+. Cependant la mesure de la vitesse d'excrétion de H^+ (Fig. 6) qui se fait dans un milieu parfaitement exempt d'anions perméants (comme les Cl- et les NO_3-) montre que les racines des plantes déficientes en fer cultivées sur milieux salés ont une capacité d'acidification beaucoup plus faible que celle des plantes déficientes cultivées sur milieux non salés. L'émission de protons chez les plantes déficientes en fer est beaucoup plus grande que celle des plantes témoins. La vitesse d'excrétion de protons émis par les racines des plantes intactes est proche de 4,5 $H^+ . h^{-1} . g^{-1}$ MF quand la culture se fait en absence de fer (Fig. 6). Il s'agit probablement de deux composantes d'émission de H^+ : une composante de base se trouvant aussi bien chez les plantes déficientes en fer que chez les plantes non déficientes et une autre composante qui n'existe que chez les plantes déficientes et qui serait induite par la déficience ferrique (Gharsalli et Hajji, 1992).

L'émission de protons est très affectée par la présence du sel dans le milieu chez les plantes déficientes en fer, elle est fortement abaissée à partir de la concentration 50 mM NaCl (Fig. 6).

A cette concentration, elle est pratiquement ramenée à sa valeur chez le témoin (plantes cultivées sur milieu + Fer et sans sel). La concentration 100 mM n'entraîne qu'une légère

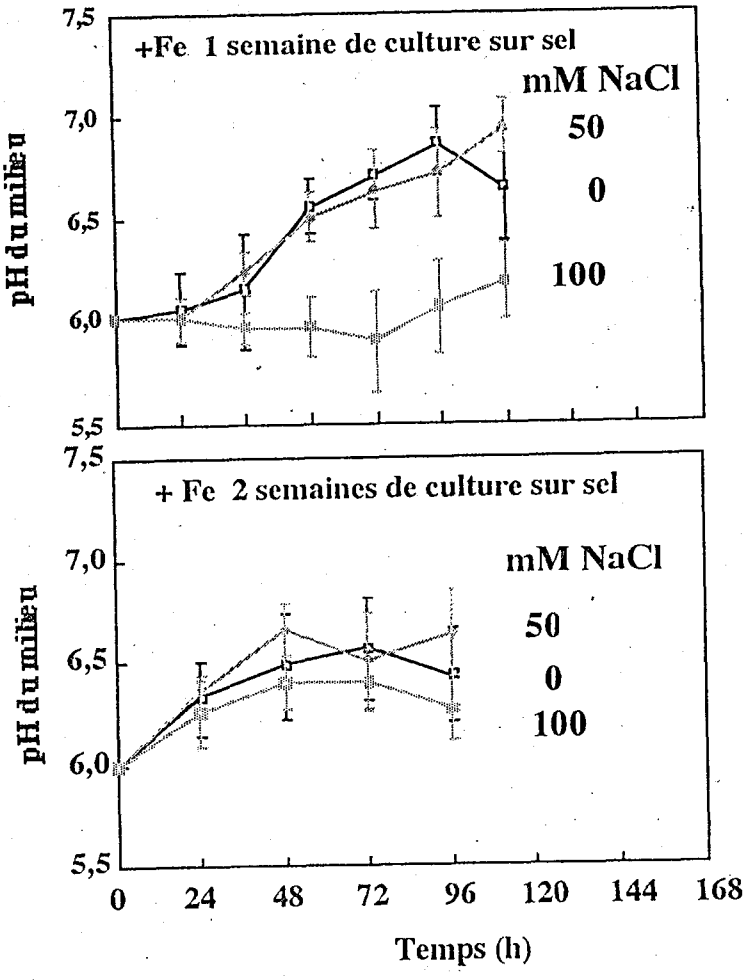


Figure 5 - Modification du pH des milieux de culture par des plantes non déficientes (+Fe) cultivées sur différentes doses NaCl.

diminution supplémentaire de l'émission de protons. La vitesse d'excrétion de protons des plantes non déficientes en fer est plus faible que celle des plantes déficientes quelle que soit la concentration de NaCl utilisée (0,50 ou 100 mM). Elle est très peu affectée par le sel chez les non déficientes. Ces résultats obtenus sur des plantes cultivées sur milieux salés pendant une et deux semaines suggèrent que le sel dans le milieu de culture affecte beaucoup plus l'excrétion de H^+ induite par la déficience en fer.

Dans un travail précédent (Gharsalli et Hajji, 1992) on a suggéré l'existence de deux pompes à protons chez les plantes déficientes en fer : une pompe d'acidification de base qui serait une H^+ A TPase (Lass et al., 1986; Rubinstein et Stern, 1986; Marrè et al., 1988) et assurerait l'acidification de base (chez les plantes non déficientes en fer et les plantes déficientes), et une pompe d'acidification indépendante de la H^+ ATPase, induite ou stimulée par la dificience ferrique (chez les plantes déficientes) qui serait un système rédox (Neufeld et Bown, 1987; Bown et Crawford, 1988). Ce dernier système réduirait préférentiellement le fer chélaté mais il peut également réduire d'autres accepteurs d'électrons (Darr et Fridovich, 1984; Briskin et al., 1985; Bienfait et Luttge 1988). Les résultats du présent travail indique que c'est plutôt la dernière pompe qui serait affectée par le sel.

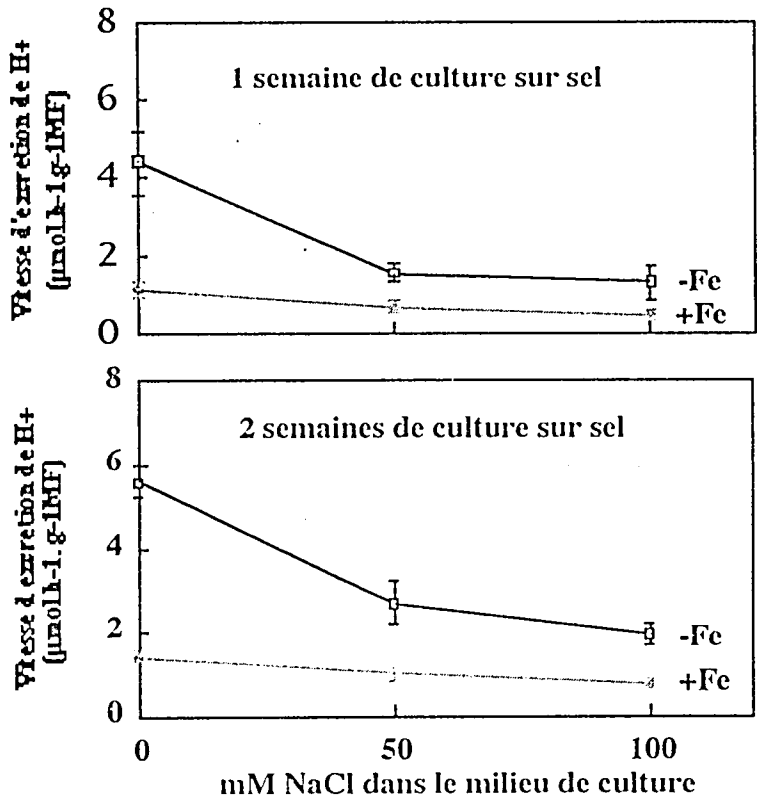


Figure 6 - Vitesse d'excrétion de protons par des plantes intactes de tournesol cultivées pendant une ou deux semaines sur des milieux enrichis en NaCl.

CONCLUSION

La déficience en fer induit chez les plantes de tournesol une forte émission de protons par les racines. Cette émission est fortement inhibée par NaCl dans le milieu dès la concentration 50 mM. Le sel affecte essentiellement la part de l'émission de protons induite par la déficience ferrique. Ces résultats suggèrent que la capacité d'adaptation des plantes fer-efficaces à la déficience en fer est diminuée par NaCl dans le milieu.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bernstein L and Pearson GA, 1969 - Effect of frequency of sprinkling with saline water compared with drip irrigation. Agron. J., 67, 185 - 190.

Bienfait F and Luttge U, 1988 - On the function of two systems that can transfer electrons across the plasma membrane. Plant Physiol. Biochem., 26, 665-671.

Bown AW and Crawford LA, 1988 - Evidence that H+ efflux stimulated by redox activity is independent of plasma membrane ATPase activity. Physiol. Plant., 73, 170-174.

Briskin DP, Thorneley WR and Poole RJ, 1985 - Vanadate dependent NADH oxidation in microsomal membranes of sugar beet. Arch. Biochem. Biophys., 236, 228-237.

Bruggemann W, Moog PR, Nakagawa H, Janiesch P and Kuiper PJC, 1990 - Plasma membrane-bound NADH : Fe3 + EDTA reductase and iron deficiency in tomato (Lycopersicon exculentum L. (Mill)). Is there a turbo reductase ? Physiol. Plant., 79, 339-346.

Buckhout TJ, Bell PF, Luster DG and Chaney RL, 1989 - Iron stress induced redox activity in tomato {Lycopersicon esculentum L. (Mill)}. Is localized on the plasma membrane. PLant Physiol. 90, 151-156.

Darr D and Fridovich I, 1984 - Vanadate and molybdate stimulate the oxidation of NADH by superoxide radical. Arch. Biochem. Biophys. , 232, 562-565.

De Vos CR, Lubberding HJ and Bienfait HF, 1986 - Rhizosphere acidification as a response to iron deficienty in bean plants. Plant Phyiol., 81, 842-846.

Gharsalli M, Hajji M et Grignon C, 1991 - Effets de la déficience en fer chez le tournesol. Relation avec l'activité de la pompe à protons des racines. Bull. Soc. Sc. Nat. Tunisie, 91-92, 62-66.

Gharsalli M et Hajji M, 1992 - Effets d'une déficience ferrique sur l'activité de la pompe à protons de la membrane plasmique et la réduction de fer chez le tournesol. C.R. Acad Sc. Paris, 315, 559-565.

Hajji M, 1979 - Effet du sel sur la croissance et l'alimentation minérale du laurier-rose. Physiol. Vég. 17, 517-524.

Hamza M, 1977 - Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : Phaseolus vulgaris (sensible) et Hedisarum carnosum (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse d'Etat Paris, 252p.

Hoagland DR and Broyer TC, 1936 - General natural of the process of salt accumultion by roots with description of experimntal methods. Plant Physiol., 11, 471-507.

Hoagland DR and Broyer TC, 1940 - Hydrogen-ion effects and the accumulation of the salt by roots as influenced by metabolism. Amer. J. Bot. , 27, 173-185.

Lass B, Thiel G and Ullrich-Eberius CI, 1986 - Electron transport across the plasmalemma of Lemn gibba GI. PLanta, 169, 251-259.

Marrè MT, Moroni A, Albergoni FG and Marré E, 1988 - Plasmalemma redox activity and H+ excretion. I. Activation of the H+ -pump by ferricyanide-induced potential depolarization and cytoplasm acidifiction. Plant Physiol., 87, 25-29.

Marschner H, Rômheld V, and Kissel M, 1986 - Different strategies in higher plants in mobilisation and uptake of iron. J. Plant Nutr., 9, 695-713.

Neufeld E and Bown AW, 1987 - A plasma membrane redox system and proton transport in isolated mesophyll cells. Plant Physiol., 83, 895-899.

Pitman MG, 1970 - Active H+ efflux from cells of low-salt barley roots during salt accumulation Plant Physiol., 45, 787-790.

Rômheld V and Marschner H, 1981 - Iron deficiency stress induced morphological and physiological changes in root tips of sunflower. Physiol. PLant., 53, 354-360.

Rômheld V, Muller C and Marschner H, 1984 - Localisation and capacity of proton pumps in roots of intact sunflower plants. Plant physiol., 76, 603-606.

Rômheld V and Marschner H, 1986 - Mobilisation of iron in the rhizosphere of different plant species. Adv. Plant Nutr., 2, 155-204.

Rubinstein B and Stern A, 1986 - Relationship of transplasmalemma redox activity to proton and solute transport by roots of zea mays.. Plant Physiol., 80, 805-811.

Slama F et Bouzaidi A, 1977 - Le tournesol (H. annus L.) irrigué à l'eau saumatre. Les cahiers du CRGR, Tunis n° 5 avril 1977.

Slama F, 1982 - Effet du chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale : étude comparative de 6 especes cultivées. Thèse d'Etat, Tunis, 214 p.

Soltani A, Hajji M et Grignon C 1989 - Nécessité d'un anion exogène mobile en cas de nutrition minérale du Citrus aurantium L. Cultivé en aquiculture stricte. Thèse de 3ème Cycle, Tunis, 163 p.

WDA 5154

UTILISATION DES EAUX SALEES EN AGRICULTURE (POSTER)

BOUTITI R.
DIRECTION GENERALE DU GENIE RURAL

RESUME :

Avec l'augmentation des besoins en eau, la dégradation des ressources en eau suite à la surexploitation des eaux souterraines, l'augmentation de la salure en été pour les eaux de surface, l'eau de bonne qualité devient de plus en plus rare.

La rationalisation de l'exploitation des eaux devient ainsi une nécessité, principalement quand elles sont de qualité médiocre lesquelles méritent une attention plus particulière.

Les règles générales qui doivent faire l'objet d'une sensibilisation en agriculture sont donc en particulier :

- d'éviter le gaspillage de l'eau
- d'appliquer les doses de lessivage nécessaires
- de réaliser des réseaux de drainage et les entretenir
- d'intensifier les cultures d'hiver
- de lutter contre l'exploitation anarchique
- d'appliquer l'eau d'irrigation qu'il faut, quand il faut et où il faut
- et d'installer des réseaux d'économie d'eau à la parcelle.

Le poster représente deux situations différentes l'une relative à une exploitation rationnelle, et l'autre relative à une situation en dégradation. Quelques données figurent également sous forme de graphiques dans le poster.

I - INTRODUCTION :

Avec la dégradation des ressources en eau d'une part, suite à la surexploitation des eaux souterraines, à l'augmentation de la salure en été pour les eaux de surface d'autre part et à l'augmentation des besoins en eau en rapport avec la croissance démographique, l'eau de bonne qualité devient de plus en plus rare.

La rationalisation de l'exploitation des eaux s'avère par conséquent une nécessité, principalement quand celles-ci sont de qualité médiocre, lesquelles méritent une attention plus particulière.

La problématique de l'utilisation des ressources naturelles, accrue par la qualité de plus en plus médiocre des eaux et les règles générales qui doivent faire l'objet d'une sensibilisation en agriculture sont présentées dans le poster dont le contenu est résumé dans la présente note.

II - PROBLEMATIQUE :

1) Taux actuels de mobilisation des eaux

Sur un potentiel total mobilisable techniquement de 3,8 Milliards de m3 par an les ressources en eau mobilisées s'élèvent à 2,8 Milliards de m3 soit 73 % répartis comme suit :

	Eaux de surface	Nappes profondes	Nappes phréatiques	Total
Ressources mobilisables	2,100	1,140	0,585	3,825
Ressources mobilisées	1,300	0,940	0,560	2,800
Taux de mobilisation	61 %	82 %	96 %	73 %

L'exploitation des ressources en eau est confrontée à des problèmes de qualité conjoncturellement ou localement quelle que soit la source d'eau.

En plus de la variabilité des apports d'eau influant sur la salinité des eaux de surface en été, la surexploitation des eaux souterraines est à l'origine de leur salinisation.

2) Surexploitation des nappes (voir histogrammes)

Alors que le taux de mobilisation des nappes profondes est de 82 %, celui des nappes phréatiques monte à une moyenne de 96 % avec des taux plus ou moins importants par nappe.

- Les nappes phréatiques surexploitées représentant 88 % du total sont soit menacées de contamination par les eaux salées des mers ou de sebkhas soit déjà contaminées.

Les nappes les plus touchées sont les nappes cotières (gouvernorat de Nabeul) et celles de la Tunisie Centrale (gouvernorat de Sidi Bouzid).

Les besoins s'accroissant continuellement, la surexploitation a tendance à toucher toutes les nappes phréatiques.

- Les nappes souterraines profondes renouvelables sont moins sollicitées, d'où un taux de mobilisation inférieur.

Par contre une forte pression touche à l'heure actuelle les nappes fosciles mettant les ressources en eau souterraines du Sud devant un véritable danger. Le climat de la région ne favorise dans ce cas ni le renouvellement de la ressource ni le lessivage des sels accumulés dans le sol par évaporation. Les nappes profondes les plus affectées sont celles de Kébili et de Gabès.

3) Pertes d'eau et gaspillage

Les raisons principales, d'ordres technique, social et institutionnel, qui sont à la base des pertes d'eau et de son gaspillage lors de son utilisation en irrigation, sont :

- la vétusté des réseaux hydrauliques non encore réhabilités,

- la méconnaissance des besoins des cultures et des techniques économisatrices en eau par les agriculteurs,

- la faible aspiration des agriculteurs à s'organiser pour l'entretien des réseaux d'irrigation ou de drainage,

- la tarification de l'eau non adaptée,

- etc...

Plusieurs actions sont néanmoins en cours pour réduire ou enrayer certains aspects négatifs, dont :

- le renforcement de la formation et de la vulgarisation en matière d'économie en eau à la parcelle,

- l'amélioration de la gestion dans les périmètres irrigués (au niveau entretien et maintenance, réhabilitation des équipements, renforcement institutionnel des AIC et tarification de l'eau).

4) Salinisation des eaux et des sols

La salinité des eaux qui résulte de la surexploitation des nappes est supérieure à 3g/l dans tous les cas menant à des effets plus ou moins néfastes sur les plantes et sur le sol.

En outre le gaspillage de l'eau est à l'origine de la remontée d'une nappe phréatique salée qui, non évacuée salinise le sol par évaporation et asphyxie les plantes.

Dans le Nord, d'importants projets ont été réalisés afin de résoudre ces problèmes :

- le transfert des eaux de surface du nord qui a fortement contribué à l'équilibre inter-régional entre les ressources et les besoins,

- l'approvisionnement en eau à partir d'une nouvelle source d'eau (les eaux usées traitées) pour combler le déficit en eau engendré par la surexploitation.

Néanmoins, la pression effectuée sur les nappes souterraines est telle qu'il est difficile d'y remédier en se limitant uniquement à la réalisation des projets d'aménagements.

Dans le Sud le problème reste encore posé car la multiplication des forages (unique solution mise en application à ce jour), risque de rabattre considérablement le niveau piezométrique de l'eau. Le dessalement des eaux saumâtres, en cours de réalisation pour l'eau potable dans la région de Gabès n'est pas encore envisageable pour l'agriculture pour une raison de rentabilité.

Par ailleurs des réseaux de drainage ont été soit aménagés soit réhabilités afin de favoriser le lessivage des sels en cas d'irrigation avec des eaux relativement salées. Le fonctionnement de ces réseaux reste cependant tributaire de leur entretien par les agriculteurs.

III - IMPACTS DE L'UTILISATION DES EAUX SALEES

Considérant des besoins moyens de 6 000 m3/ha pour les périmètres irrigués du Nord et du Centre, 11 000 m3/ha pour les oasis de Gabès et 20 000 m3/ha pour le reste des Oasis du Sud, les superficies menacées par la salinisation s'élèvent à :

- 68.000 ha à partir des nappes phréatiques, et

- 20.000 ha à partir des nappes profondes.

L'impact de la salinité de l'eau se fait sentir en premier lieu sur les rendements des cultures (voir graphique). Au delà de 2,5 g/l certaines cultures (les maraîchages) deviennent prohibées eu égard à la rentabilité escomptée dans des conditions pareilles.

La salinisation des sols, danger principal, peut dégénérer en alcalinisation et stérilisation si aucune action n'est envisagée. Le stade ultime de cet impact est l'abandon pur et simple des terres agricoles.

Les ressources en eau de surface posent moins de problème en rapport avec la qualité de l'eau. Le type de sol (texture, structure) et la topographie (possibilité et existence du drainage), sont les principaux facteurs (autres que l'eau) déterminant l'état du périmètre.

IV - PROPOSITION D'EXPLOITATION RATIONNELLE DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL :

Au vu de l'acuité des problèmes rencontrés et des enjeux de développement durable et de sécurité alimentaire établis comme objectifs primordiaux de nos projets de développement, les actions sont à mener de façon à considérer les trois aspects suivants :

- la préservation du milieu naturel
- l'intensification du patrimoine productif
- et l'amélioration des revenus.

L'expérience a montré que les problèmes se posent beaucoup plus au niveau de la gestion des périmètres irrigués, qu'au niveau de leur aménagement.

Les actions proposées doivent mobiliser tous les efforts et toutes les compétences possibles en matière :

- de recherche
- de formation
- de vulgarisation
- et de législation.

Les aspects à traiter intéressent principalament :

- l'adéquation des ressources aux besoins selon la disponibilité et la quantité de la ressource (eau, sol),
- l'intensification des cultures en profitant au maximum de l'apport pluviométrique (maraîchage d'hiver, céréales irriguées,...),
- le pilotage des irrigations (irrigation en temps réel, en quantité adéquate) afin d'éviter le gaspillage,
- l'installation de systèmes d'économie d'eau (adaptation aux conditions tunisiennes, étude des aspects sociaux et économiques, actions de Formation et de Vulgarisation),
- aménagement de drains (besoins de lessivage, étude du drainage, sensibilisation à l'entretien des réseaux), etc...

V - REPRESENTATION GRAPHIQUE :

Le poster présente succintement la problèmatique du secteur irrigué avec quelques graphiques sur :

- l'importance des nappes phréatiques salées et leur degré de salinité (2 graphiques jumelés),
- l'état d'exploitation des nappes phréatiques et profondes (3 graphiques),
- la diminution des rendements en fonction de la salure (1 graphique),
- les actions à mener,
- et la représentation imagée de deux situations différentes :

* l'une relative à une exploitation rationnelle des ressources naturelles, avec utilisation d'un système d'économie d'eau, protection des cultures par des brise-vents, entretien des drains et délimitation définitive du périmètre irrigué compte tenu de la disponibilité en eau,

* et l'autre relative à une situation en dégradation suite à une mauvaise gestion de ces ressources, avec une exploitation anarchique des eaux des nappes, extention illicite des surfaces irriguées, pertes importantes au transport de l'eau et drainage déficient car non entretenu.

IMPORTANCE DES NAPPES PHREATIQUES SALEES EN EXPLOITATION

Gouvernorat	Marge des salinités (g/l)	% en Nombre des nappes salées
Ariana	4 à 5	75
Ben Arous	1 à 6	100
Nabeul	4 à 6	66
Bizerte	4	33
Béja	4 à 6	40
Jendouba	4 à 6	16
Kef	4 à 5	57
Silianaa	7 à 16	55
Zaghouan	5 à 6	80
Monastir	5	75
Mahdia	3 à 5	86
Sfax	5 à 15	100
Kairouan	3 à 4	30
Kasserine	3 à 6	54
S. Bouzid	3,5 à 10	100
Gafsa	3 à 10	100
Tozeur	4 à 6	66
Kébili	5 à 6	100
Gabès	5 à 12	100
Medenine	7 à 15	100
Tataouine	3,5 à 14	80

ETAT DE NAPPES SUREXPLOITEES

NAPPES PROFONDES

Nappes	Ressources exploitables (Mm3)	Exploitation annuelle (Mm3)
Dj. Zaghoun (Miliane)	100	170,3
Mornag Miliane	200	302,2
Bouhafna (Merguellil)	300	399,8
Nefzaoua	4 500	6538,1
Djeffara	1 150	1158,8

NAPPES PHREATIQUES

Nappes	Ressources exploitables (Mm3)	Exploitation annuelle (Mm3)
NORD EST		
Ben Arous	24	24,1
Nabeul	14	153,7
Bizerte	26	38,11
NORD OUEST		
KEF	8	13,57
Siliana	10	13,55
CENTRE EST		
Sousse	3	3,4
Monastir	2	4,42
Mahdia	4	3,85
Sfax	17	19,61
CENTRE OUEST		
Kairouan	12	12,62
Kasserine	8	9,17
S. Bouzid	57	93,03
SUD		
Gafsa	18	21,19
Tozeur	14	22,98
Gabès	4	5,38
Medenine	9	12,13
Tataouine	1	0,83

WDH 9159

APPLICATION DE LA CONDUCTIVIMETRIE ELECTROMAGNETIQUE AU SUIVI DE LA SALINISATION DANS LES PERIMETRES IRRIGUES DE TUNISIE

HACHICHA M.*, JOB J.O.** ET MTIMET A*

* Direction des Sols

** Mission ORSTOM Tunisie

RESUME

Pour appréhender les problèmes de la salinité des sols à l'échelle des périmètres irrigués de Tunisie, nous avons employé une méthodologie adaptée aux variables dont dépend l'évolution de la salinisation. Après enquête et mesures préliminaires, nous avons retenu un réseau d'observatoires constitué de parcelles représentatives. La variable spatialisée adoptée est la salure globale apparente mesurée par conductivimétrie électromagnétique. La cartographie basée sur cette mesure et l'emploi d'un logiciel géostatistique ont permis de définir les tendances spatiales de variation de la salure des sols. L'exposé porte sur l'approche employée et les résultats obtenus au niveau de périmètres sensibles à la salinisation.

INTRODUCTION

Compte tenu de l'ampleur de la salinisation des sols dans les périmètres irrigués, un programme a été monté par la Direction des Sols et la mission ORSTOM de Tunisie pour diagnostiquer l'évolution de la salure des sols irrigués sur des sites représentatifs de l'ensemble de la Tunisie. L'approche spatiale des mesures de salure repose sur la méthode de mesure par conductivimétrie électromagnétique, dite CEM, sur le traitement géostatistique des données, l'estimation de la variation dans le temps et le traitement de variables dynamiques (Hachicha et Job, 1994). L'approche permet en même temps :

- de délimiter dans l'espace les sols les plus menacés par la salure afin d'optimiser les investissements consentis pour l'irrigation des terres,
- d'évaluer l'évolution de la qualité des sols irrigués à l'eau salée.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Matériels

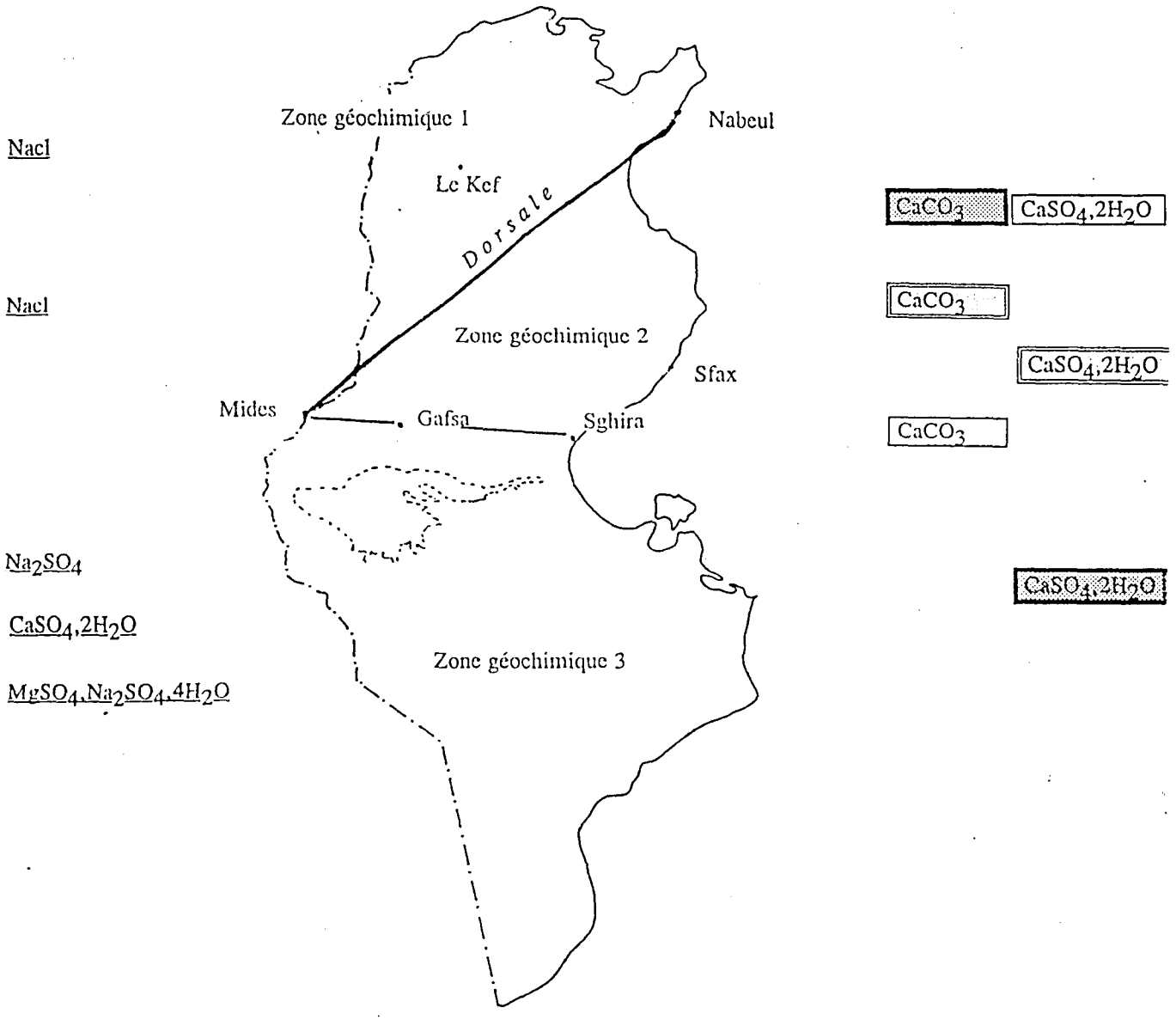
1.1.1. L'état de la salure des périmètres irrigués de Tunisie.

Dans l'inventaire des périmètres irrigués salés de Tunisie (Hachicha, Job et Mtimet, 1994), on distingue trois zones géochimiques : les sols alcalins et salés au Nord et les sols simplement salés au Sud qui se subdivisent dans le paysage en deux zones suivant que le gypse y subit une migration actuelle sous irrigation ou non (Fig. 1).

Les sols salés de Tunisie contiennent tous du chlorure de sodium. Du Nord au Sud, la part des sulfates dans la composition anionique et celle du magnésium dans la composition cationique des nappes et des solutions du sol augmentent régulièrement. A la zonation géochimique se surimpose une différenciation des sols salés suivant leur position géomorphologique dans le paysage.

DYNAMIQUE DES SELS SOLUBLES

DYNAMIQUE DES SELS PEU SOLUBLES



LEGENDE

DYNAMIQUE DES SELS

$CaSO_4,2H_2O$ précipité en surface,

$CaSO_4,2H_2O$ diffus dans le profil,

$CaSO_4,2H_2O$ individualisé (concrétions/nodules),

$CaSO_4,2H_2O$ immobilisé (croûtes/encroûtements),

Fig.1- Zonation géochimique des sols salés en Tunisie.

Dans chaque grande région géochimique, chaque portion de paysage comprend une partie haute, une partie intermédiaire où se produit l'infiltration et le ruissellement, et une partie basse où s'accumulent les transports solides fins et où s'évaporent les sels. On y trouve la séquence de sols suivants : de haut en bas des versants, les sols peu évolués d'apport colluvial, les sols salins non hydromorphes et enfin les sols salins hydromorphes présents dans tous les petits bassins versants endoréiques. Selon la position de la nappe dans le profil, on distingue les sols dont la nappe varie saisonnièrement et les sols dont la nappe est constamment près de la surface.

En règle générale, dans les périmètres expertisés, l'intensification reste faible. Des efforts doivent porter sur l'optimisation de la gestion de l'eau à la parcelle, l'amélioration du drainage et l'adéquation des superficies irriguées par rapport aux quantités d'eau disponibles et par rapport aux rendements escomptés. Il y a très clairement trois niveaux de manifestation de la salure dans le paysage tunisien :

- le niveau le plus perceptible est celui de l'agriculteur propriétaire. C'est un problème qui se pose sur de toutes petites surfaces, dans un laps de temps court, une ou deux années après la mise en culture. C'est un problème de gestion à la parcelle. Les propriétés hydrodynamiques des sols sont suffisamment bien connues à ce niveau, l'évolution de la salure des sols dans le temps et sa distribution à l'intérieur du profil également. Les recherches à mener concernent les besoins en eau des cultures et leur résistance à la salure en fonction de la qualité des sols et des pratiques culturales.

- le deuxième niveau est celui des périmètres irrigués gérés par les sociétés de mise en valeur. A peu d'exceptions prés, tous ont au moins un secteur dont les sols se salent. Ce n'est pas toujours la partie la plus aval, quelquefois le nivellement de départ est en cause. La salure provient d'une mauvaise gestion de l'eau. Le problème peut être étudié à moyen terme (deux à trois ans). De simples bilans hydriques doivent permettre de situer le niveau des économies d'eau à faire. Dans ce cas, les recherches à mener sont celles de la distribution des sels dans l'espace.

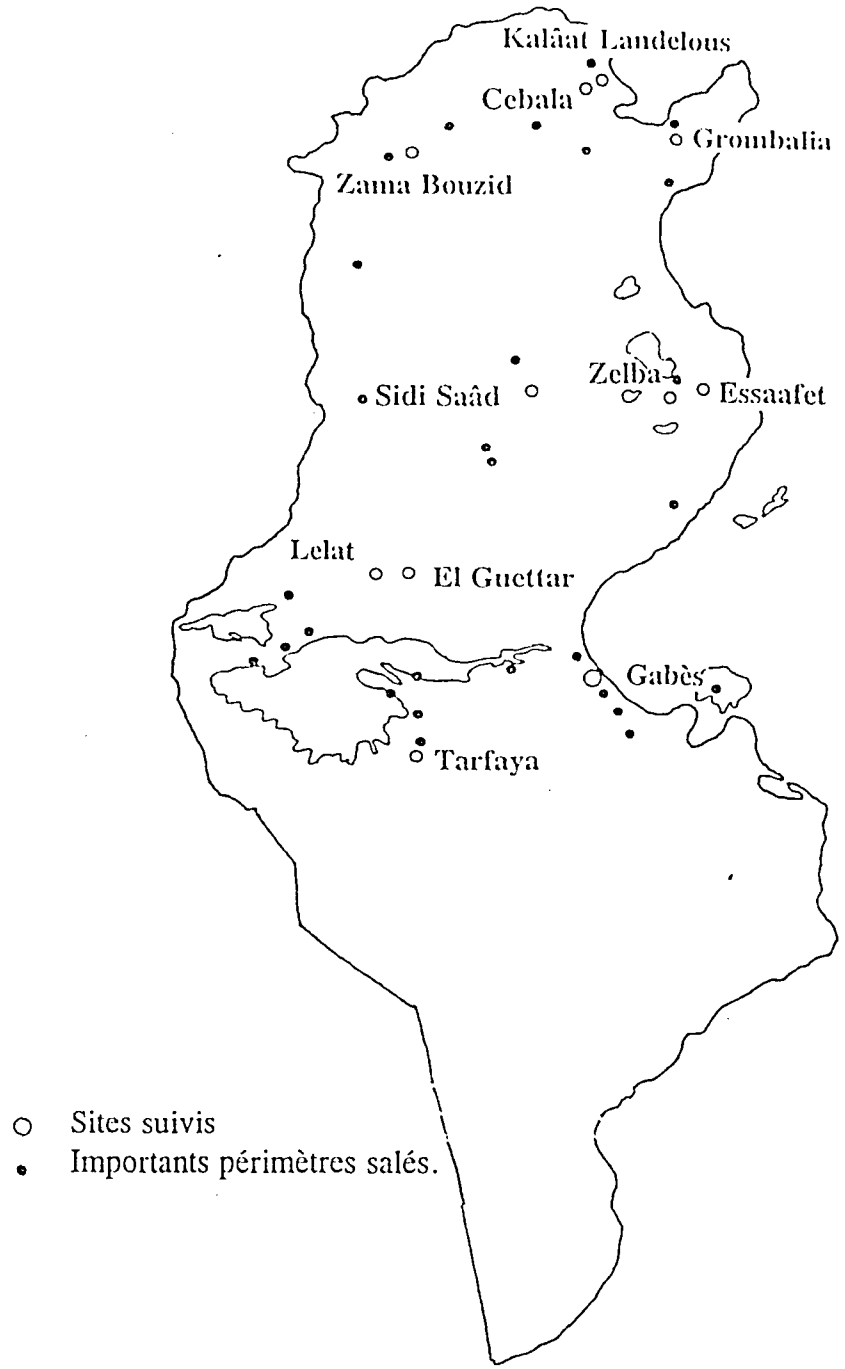
- le troisième niveau est celui des régions qui constituent des ensembles hydro-pédologiques cohérents : la vallée de la Mejerda, la Nefzaoua, les steppes du centre. L'eau utilisée en amont, se retrouve dans le paysage aval. Les périmètres irrigués n'ont pas un fonctionnement hydrique indépendant. Chacun contribue à la salinisation des sols et des eaux de l'ensemble du bassin versant. Les recherches à mener sont celles de l'évolution des paysages à long terme, sur les quantités de sels qui migrent et se fixent dans les parties basses. Il s'agit de recherches à caractère novateur, rarement entreprises sur des régions entières.

1.1.2. Les sites d'essai (Fig. 2.)

1.1.2.1. Le périmètre de la Cebala Borj-Touil

Le périmètre couvre environ 3000 ha, situé dans la Basse Vallée de la Mejerda, à 15 km au Nord de Tunis. Il reçoit 450 mm de pluie par an. Les sols sont argileux, peu perméables, plus ou moins hydromorphes, salés et alcalinisés. La nappe salée affleure en hiver par endroit, malgré un drainage par fossés à ciel ouvert, associé dans certains secteurs à un drainage souterrain. Les eaux usées épurées employées pour l'irrigation ont une salinité moyenne d'environ 5 dS.m-1 et un SAR de 10 (été 92). Il s'agit, du point de vue salinité, d'une eau dangereuse à haut risque de salinisation (Hachicha, Djelidi, Trabelsi et Brari, 1992).

Trois campagnes de mesures ont été faites (sept. 89, mars 90, sept. 90) sur deux parcelles, plus une cartographie d'un secteur de 50 ha, avec une maille de 50 m, à la fois par CEM et par prélèvement d'échantillons de sol et la détermination de la conductivité de l'extrait au cinquième entre 0 et 80 cm.



Carte de situation des principaux périmètres irrigués faisant partie du programme de suivi de la salure (échelle: 1cm=55 km).

Fig.2. Les sites d'essai

1.1.2.2. Le périmètre de Zaafrana III

Le périmètre de Zaafrana (120 ha) est situé dans le kairouanais à 6 km de Bou Hadjla. Les sols sont des peu évolués d'apport alluvial de texture moyenne à fine en surface, hydromorphes en profondeur avec par endroit un encroûtement gypseux de nappe à 80 cm et plus. Ils sont profonds, peu perméables en surface, perméables en profondeur, calcaires et de salinité initiale très faible, mais la topographie est très plane et le drainage externe quasi nul (Hachicha, Mohdi et Soussi, 1990). Un forage débite une eau de 2,7 g/l (SAR de 12) à 60 l/s, soit à peine la moitié des besoins estimés à 6800 m3/ha. Le tour d'eau, de 7-9 jours en hiver, passe à 2-3 semaines en été. Deux parcelles ont fait l'objet de mesures CEM (Tab. 1).

Tableau 1. Caractéristiques de la parcelle du périmètre de Zaafrana

Périmètre	Parcelle	Taille (m)	Maille (m)	CEH mini-max
Zaafrana	ZFR 1	160 x 120	20 x 20	30 - 150

1.1.2.3. Le périmètre de Sidi Saâd.

Le périmètre irrigué de Sidi Saâd est situé à 60 km de Kairouan juste en aval du barrage construit sur l'Oued Zéroud. Ce barrage permet d'irriguer 1200 ha avec une eau dont la salinité varie de 2 à 4,5 g/l (Oct. 1989). Les sols sont des sols peu évolués d'apport et des sols isohumiques (Job, Mohdi et Hachicha, 1989). Ils sont profonds, sains et de texture grossière parfois équilibrée. Trois parcelles de 5,5 ha, de texture équilibrée à limono-argileuse ont été sélectionnées (Tab. 2).

Tableau 2. Parcelles de Sidi Saâd.

Parcelle	Taille (m)	Couverture du sol	Texture
SS7	300 x 180	labour puis orge	moyenne
SS8	220 x 160	jeune luzerne	limoneuse
SS9	300 x 180	orge	limono-argileuse

1.1.2.3. L'Oasis d'El Guettar.

L'Oasis d'El Guettar est située à environ 15 km à l'Est de la ville de Gafsa. Elle couvre 450 ha. La région reçoit 150 mm de pluie par an et est caractérisée par une ETP (Penman) annuelle de 1500 mm. L'eau d'irrigation, débitée à 120 l/s, provient de 4 forages. La conductivité électrique de l'eau d'irrigation varie entre 2,37 et 3,86 dS.m-1. La répartition des sols dans l'Oasis est étroitement liée à la géomorphologie. Des formations éoliennes de gypse dunaires ont été recouvertes durant le quaternaire récent par les colluvions des oueds descendant du Jebel Orbata (Job et Merai, 1990). L'oasis est cultivée sur trois strates successives : palmiers, oliviers, grenadiers, abricotiers, pistachiers, figuiers, et enfin cultures fourragères et maraîchères. Plusieurs mesures ont été effectuées sur des parcelles ainsi que sur toute l'Oasis (Job et Merai 1992).

1.2. METHODES

L'évaluation de la salure des sols se mesure habituellement par la conductivité électrique de l'extrait aqueux d'un échantillon de sol saturé d'eau (USSL, 1954). Cette mesure est faite au laboratoire, elle est très précise, mais longue à mettre en oeuvre. Elle a de plus l'inconvénient de ne représenter qu'un faible volume de sol, de l'ordre du dm3. Or les recherches actuelles sur la géochimie des systèmes agraires affectés par les sels ont mis en lumière la grande variabilité spatio-temporelle de la distribution des sels dans les sols. Dans les périmètres irrigués de Tunisie, cette variabilité est maximum dans le premier mètre du sol, siège des flux hydriques les plus importants.

Pour améliorer les rendements des cultures irriguées, il faut lessiver les sels hors du volume racinaire avec la quantité minimum d'eau. Cela suppose que l'on puisse mesurer la salure du sol intégrée sur le premier mètre du sol à peu près, avec une maille serrée et un pas de temps court. Pour ne pas perturber le fonctionnement du sol lors de ces mesures, il faut opérer sans prélever d'échantillon. Des essais menés dans les années quatre vingt ont montré l'intérêt des mesures de salinité globale (El Idrissi, 1988). La conductivimétrie électromagnétique (CEM) est une manière d'apprécier non seulement la salure globale des 200 premiers cm de sol, mais aussi de déterminer l'allure du profil salin en chaque point de mesure (Job, Ailoul et Loyer, 1987). Cette méthode a donc été choisie pour sa souplesse et sa rapidité pour suivre la salure des périmètres irrigués en Tunisie.

Le principe de la CEM en est le suivant : une variation du flux de champ magnétique créé par une bobine émettrice induit dans le sol des courants dont l'intensité dépend de la conductivité électrique du sol. Ces courants produisent à leur tour un champ magnétique secondaire qui peut être mesuré par une bobine réceptrice associée à un galvanomètre. Le volume de sol pris en compte dans la mesure dépend de l'écartement entre les bobines d'émission et de réception et de la fréquence du courant d'excitation. Dans un sol homogène et isotrope, et pour un écartement égal à 1 mètre, la profondeur théorique de pénétration est de deux mètres à peu près (Mc Neill, 1980). Dans l'appareil utilisé (GEONICS EM38), les grands axes des bobines émettrices et réceptrices sont dans un même plan et parallèles. On peut les positionner horizontalement ou verticalement. Le champ secondaire produit dans les deux cas étant différent, la réponse d'une épaisseur de sol située à une profondeur donnée n'est pas la même. On obtient en un même point deux mesures distinctes, notées CEVet CEH. On peut donc différencier les profils salins à partir d'un couple de mesure CEV - CEH et trouver ainsi une variable représentative de la dynamique des sels (Job, Hachicha et Loyer, 1990).

Les mesures prises en chaque point, CEV et CEH, sont étalonnées par rapport à la salure du sol en ce point. Suivant le degré de précision requis, on répète l'étalonnage par famille de sol, ou seulement par classe de texture.

Pour estimer la salure globale de sols irrigués, il faut exprimer les mesures de CEM à une valeur de l'humidité pondérale Øp de référence, soit 20 % pour choisir une valeur proche de la moyenne réelle de sols irrigués à texture équilibrée. Pour cela, on a pris 43 profils de salure moyenne sur 120 cm, CEsat (0-120) = 3,1 + ou - 0,1 dS.m-1 pour lesquels on a établi une corrélation simple entre CEH et Øp :

$$CEH(20) = CEH(Øp) + 5{,}4\,(20-Øp) \quad \text{avec} \quad 13 < Øp < 25 \quad \text{et } r = 0{,}847 \qquad (1)$$

Cette équation permet de rapporter à Øp = 20, toutes les mesures faites dans la gamme des teneurs en eau Øp que l'on rencontre dans les parcelles d'un périmètre irrigué à un instant donné, soit dans notre cas entre 8 et 28 %.

On mesure ensuite sur une trentaine de points CEV et CEH, on y prélève tous les vingt centimètres de profondeur un échantillon dont on détermine la moyenne des conductivités d'extraits à saturation au laboratoire, et on ramène avec l'équation (1) les mesures de CEH à Øp =20. On établit la corrélation entre CEsat (0-120) et CEH (20), soit :

CEsat (0-120) = 0,094CEH (20)-4,68 n = 31 r = 0,964 (2)

équation valable pour : 2 < CEsat (0-120) < 40

Cette relation permet de connaître la salure moyenne en n'importe quel point pourvu que l'on puisse y déterminer Øp. Cette valeur est mesurée ou estimée à 5 %, dans ce dernier cas l'erreur faite dépend de la salure globale. Elle n'excède pas 25 %. Même si les corrélations entre CEM et CEsat (0-120) sont bonnes, la mesure reste influencée par les horizons sous-jacents. Des mesures plus fines seront nécessaires sur chacun des sites étudiés.

La différence entre les modes de mesures verticaux et horizontaux permet de résoudre les profils salins. En mode horizontal, les couches superficielles donnent une réponse relative plus grande que les couches profondes. En mode vertical, les couches superficielles auront la même réponse relative que le reste du demi-espace. Donc si on étalonne la réponse de l'appareil par rapport à des prélèvements tarières faits de 0 à 120 cm, c'est la mesure CEH qu'il faudra utiliser dans la corrélation avec la salinité vraie du sol (Fig.3).

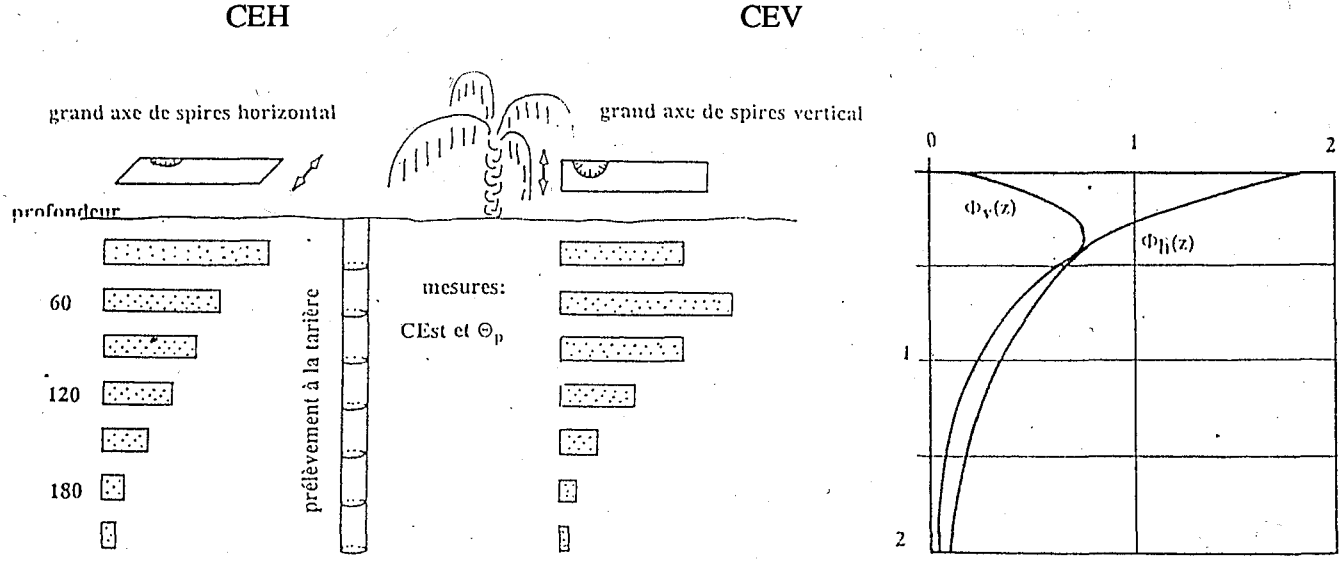


Fig. 3. Etalonnage CEM et contribution au champ secondaire d'une épaisseur élémentaire de sol.

3. RESULTAT

3.1 - Etalonnage des mesures CEM.

Pour convertir les mesures CEM en CE d'extrait saturé, nous avons retenu les corrélations suivantes :

- Cebala Ben Ammar, Basse Vallée de la Medjerda :

CEsat (0-120) = 0,043 CEH (23) - 1,93 n = 72 r = 0,849 (3)

- Sidi Saâd :

CEsat (0-120) = 0,05 CEH (20) - 0,85 n = 10 r = 0,900 (4)

- Zaâfrana III :

CEcin (0-120) = 0,023 CEH (20) - 0,098 n = 5 r = 0,905 (5)

- El Guettar :

CEsat (0-120) = 0,082 CEH (20) - 0,64 n = 46 r = 0,970 (6)

CEsat est la CE de l'extrait de la pâte saturée et CEcin est celle de l'extrait au cinquième.

3.2. Distribution spatiale de la salure.

3.2.1 - Distribution des sels à Sidi Saâd.

La prospection électromagnétique sur une épaisseur de sol de deux mètres, avec un maillage de cinquante mètres (Ben Hassine, Hachicha, Job et Loyer, 1988), montre l'accumulation des sels dans la partie basse (Fig. 4).

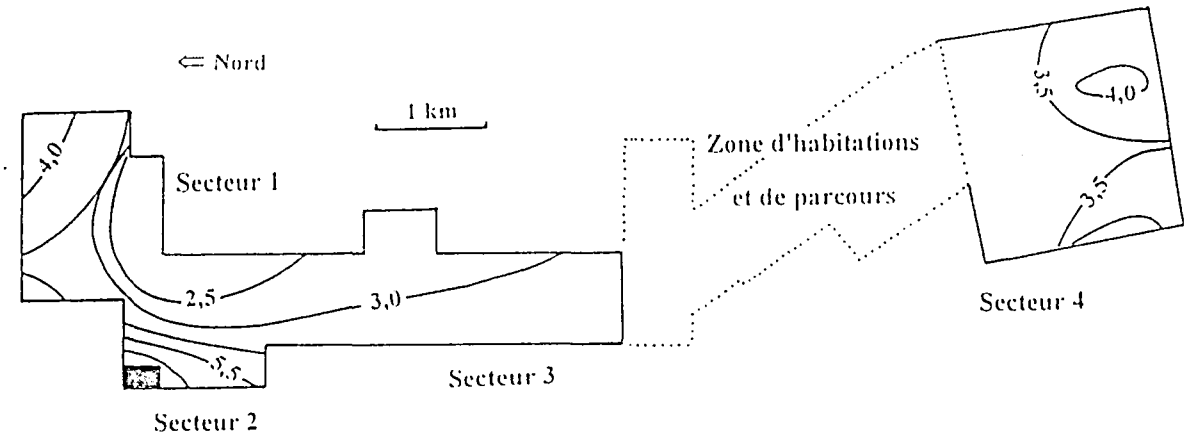


Fig. 4 - Distribution des sels à Sidi Saâd (Juin 1989). Les valeurs des courbes d'isosalinité (isohales) sont celles de l'extrait saturé moyen du sol entre 0 et 120 cm de profondeur en dS.cm-1, valeur calculée à partir des mesures CEM. Au Sud-Est du secteur 2, en noir, la parcelle n° 112 NO de six hectares dont la salure a été suivie pendant deux ans (détail en figure 5).

La salure est généralement modérée sur tout le périmètre. Les isohales ont été calculées avec le logiciel Geostat-PC (Boivin, Brunet et Job, 1988 et Boivin, Hachicha, Job et Loyer, 1989) qui propose plusieurs options de Krigeage.

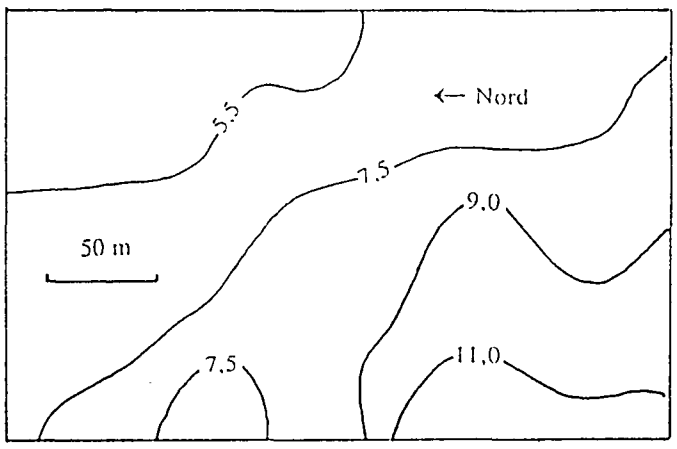


Fig. 5 - Détail de la salure de la parcelle n° 112 NO en juin 1988.

3.2.2. - Distribution des sels à El Guettar.

En amont, on rencontre des sols peu évolués sains. En bas du paysage, les sols deviennent graduellement hydromorphes au fur et à mesure que l'on se rapproche du Chott (Fig.6). Ils possèdent un encroûtement gypseux avec ou sans gley de profondeur. Les sols halomorphes fortement salés avec présence de nappe entourent le chott d'une frange toujours menacée par l'avancée du Chott (Job, 1992).

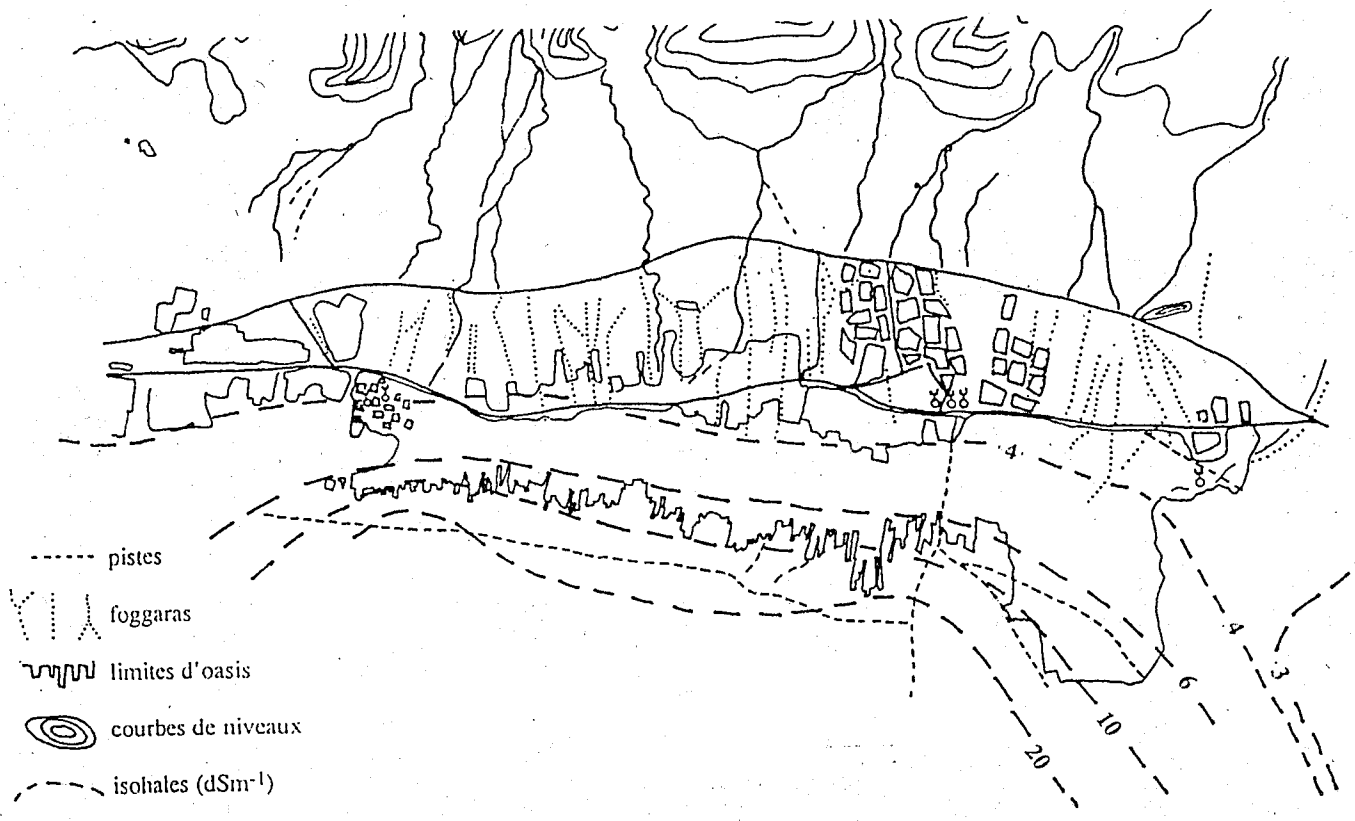


Fig. 6 - Distribution spatiale de la salure des sols de l'oasis d'El Guettar (en dS. m-1 de l'extrait saturé intégré sur les premiers 120 cm).

3.3. Evolution de la salure dans le temps

Il faut connaître l'évolution de la salure des sols pour prévoir les aménagements nécessaires au maintien de la productivité des sols dans les périmètres irrigués. Cette évolution dans le temps ne peut se prévoir que si la répartition des sels dans l'espace est connue, et ce avec un pas de temps saisonnier. La méthode d'étude consiste à suivre une ou plusieurs parcelles représentatives d'une unité de sol dont le comportement géochimique est homogène à l'intérieur d'un périmètre par région et d'un périmètre par type d'exploitation, puis de la parcelle on passe au périmètre. L'ensemble des données est collecté pour donner une idée du rythme de salinisation des sols en Tunisie.

Dans le périmètre de la Cebala, la distribution des sels à l'intérieur du périmètre est assez homogène (Fig. 7), mais il y a des secteurs entiers atteint par les sels, en général à cause d'un mauvais planage du sol. Cette salure n'est pas toujours perçue par l'agriculteur, car elle évolue lentement dans le temps.

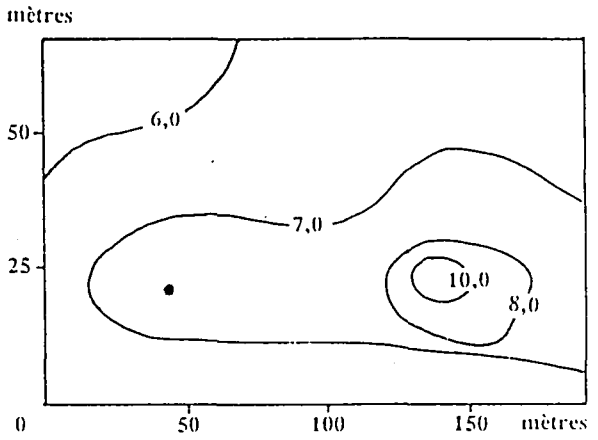
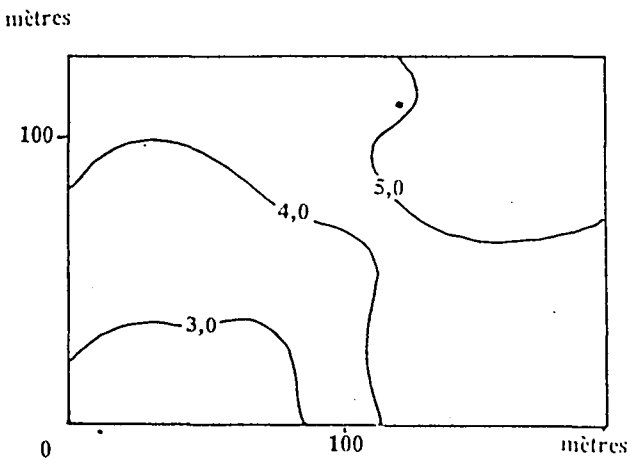
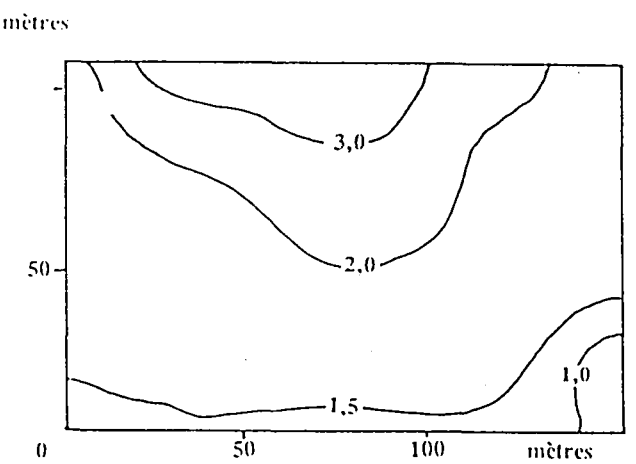


Fig. 7 - Répartition de la salure dans une parcelle du périmètre de la Cebala en mars 90 (Basse Vallée de la Medjerda, conductivité moyenne de l'extrait saturé entre 0 et 120 cm en dS.m-1).

Dans le Centre, la salure est modérée, les sols ne sont pas alcalins, la variabilité spatiale est faible ((Fig. 8a et 8 b).





Sidi Saâd Zaâfrana III

Fig. 8. a - Variation de la salure du sol sur 120 cm de profondeur pour deux parcelles expérimentales du Centre tunisien, Sidi Saâd et Zaâfrana (conductivité moyenne de l'extrait saturé entre 0 et 120 cm en dS.m-1).

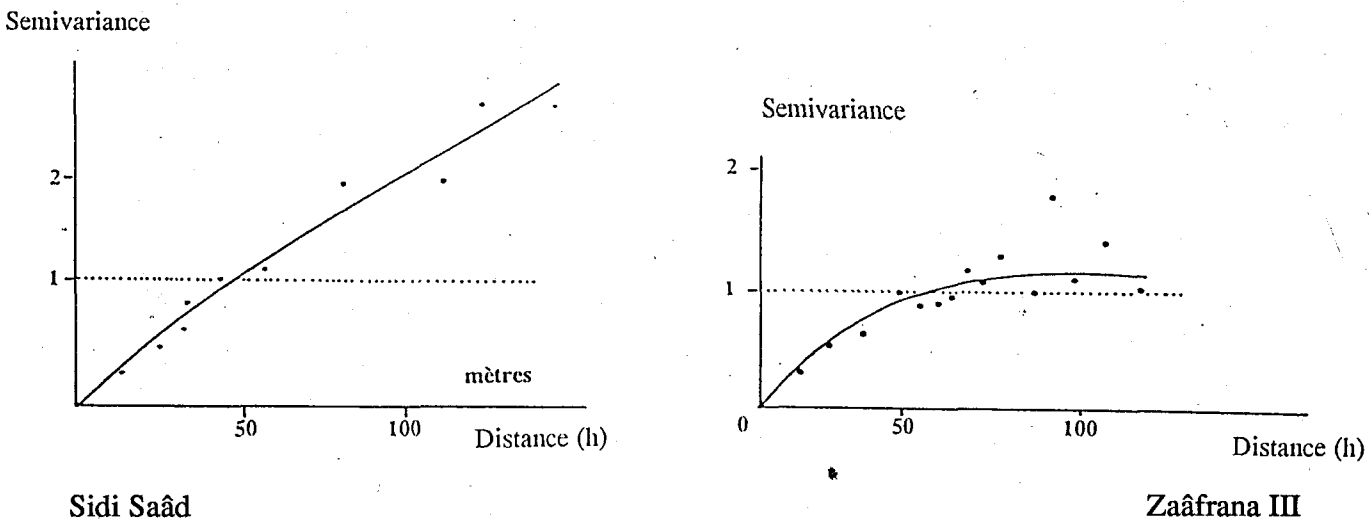


Fig. 8. b - Variogrammes normés correspondants aux cartes de la figure 8. a (nombre pur).

Dans le Sud, les superficies irriguées par les agriculteurs propriétaires sont très petites. La distribution des sels dans les sols a une très grande variabilité, en profondeur et en surface. Une même planche de quelques m2 peut drainer dans une partie et présenter des profils de remontée capillaire dans une autre. La dynamique des sels est très rapide (quelques semaines pour une inversion des profils). La réhabilitation des sols est par contre plus facile que dans le Nord car les sols sont perméables et peu argileux (Fig. 9).

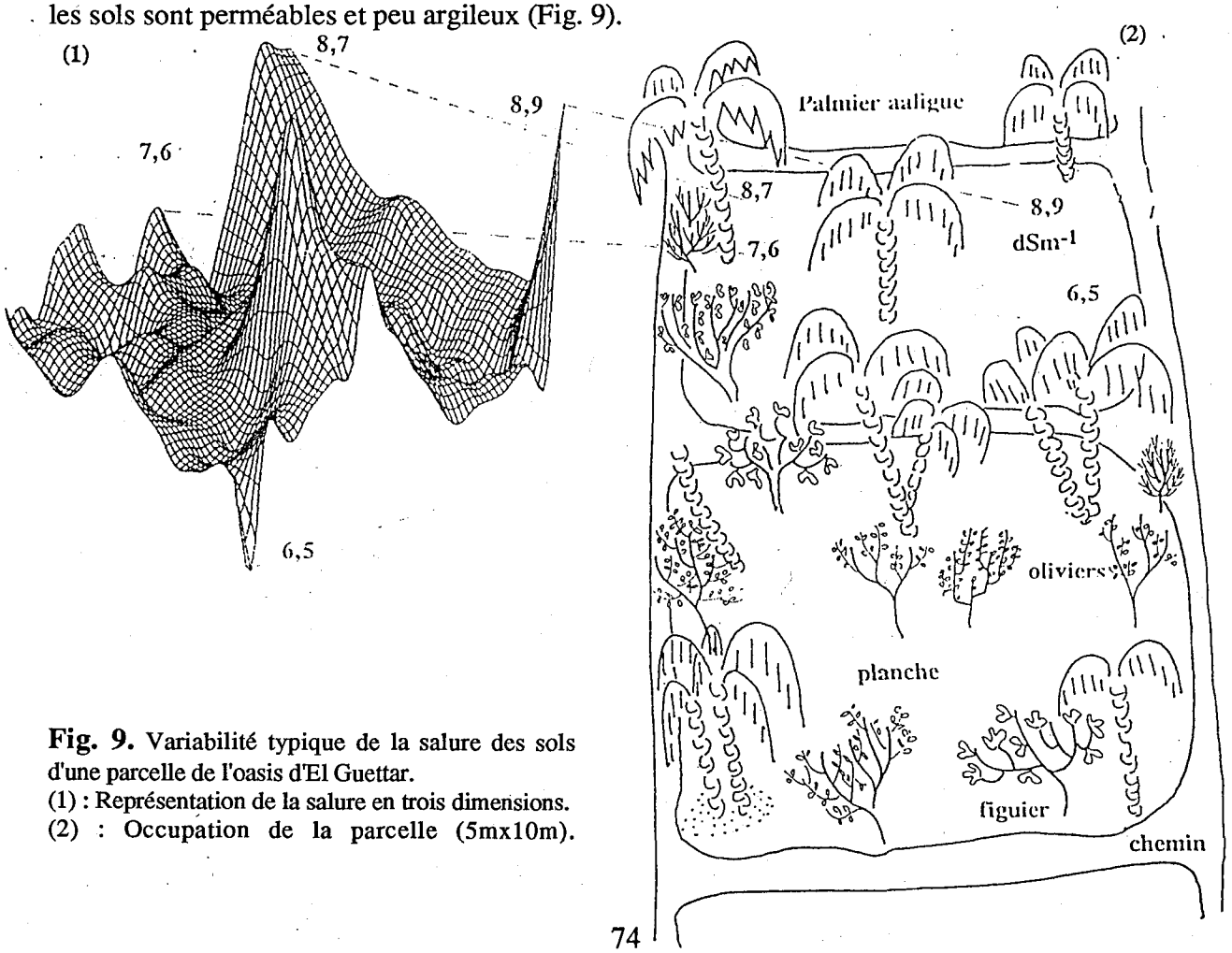


Fig. 9. Variabilité typique de la salure des sols d'une parcelle de l'oasis d'El Guettar.
(1) : Représentation de la salure en trois dimensions.
(2) : Occupation de la parcelle (5mx10m).

La méthode de mesure de la salure des sols par conductivité électromagnétique mise au point en Tunisie, permet donc d'aborder toutes les situations, même les plus complexes, avec des pas de temps et d'espace très courts. Elle nous a permis de mettre en évidence les problèmes d'échelle liés à la salure des sols (Job et Hachicha, 1991) :

- les grandes exploitations du Nord qui doivent rentabiliser les investissements hydrauliques par un choix des terres à mettre en culture qui évite la mise en valeur des zones salées,

- les exploitations des petits agriculteurs dans le Sud qui doivent adapter leurs techniques de culture et leurs amendements à la bonification de petites surfaces.

Dans le temps, tant que l'agriculteur ne modifie pas sa manière d'irriguer, la salure de la parcelle n'évolue pas sensiblement, au moins sur une période de trois années (Fig. 10). Le niveau de la salure du sol pour une parcelle donnée est donc une question de gestion de l'eau et du sol.

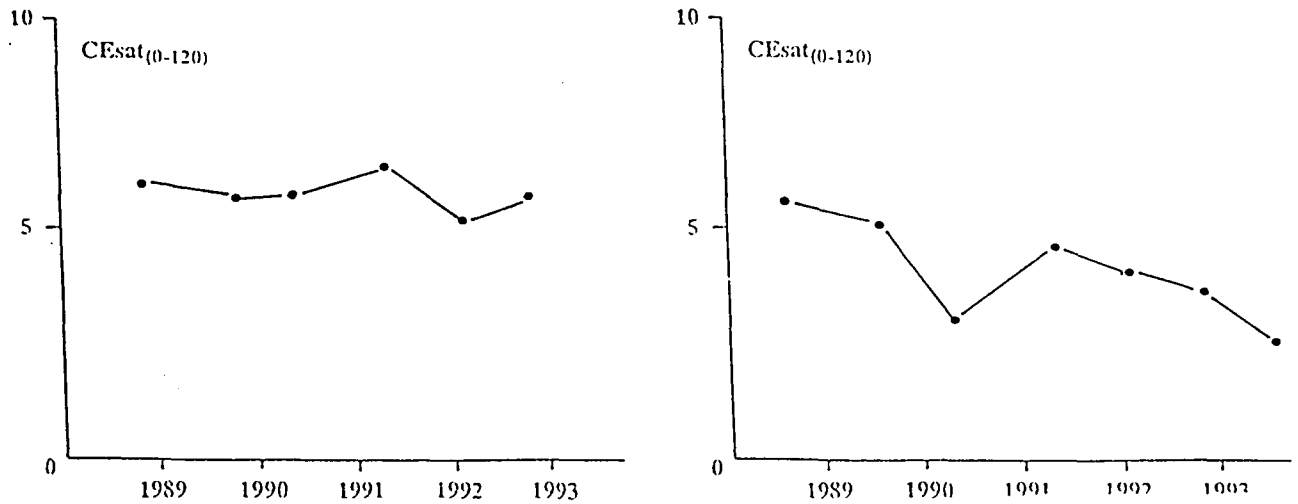


Fig. 10. - Evolution de la salure de deux parcelles à El Gueltar. La baisse de salure au début de 1990 est causée par les pluies exceptionnelles de janvier 1990 (247 mm en deux jours). La parcelle (1) est située dans une partie non drainante.

3.4. - Cartographie de la salure par méthode CEM et par prélèvement d'échantillon.

La cartographie de la salinité globale a été entreprise par un emploi séparé des deux méthodes, conductivimètrie électromagnétique et détermination de la CEs sur des prélèvements de sols. La mesure CEM permet une bien plus grande précision grâce à la multiplication du nombre de mesures qu'elle permet (Fig. 11), malgré des variations de teneur en eau du sol de 20 à 25 % pondérale sur les 50 hectares prospectés.

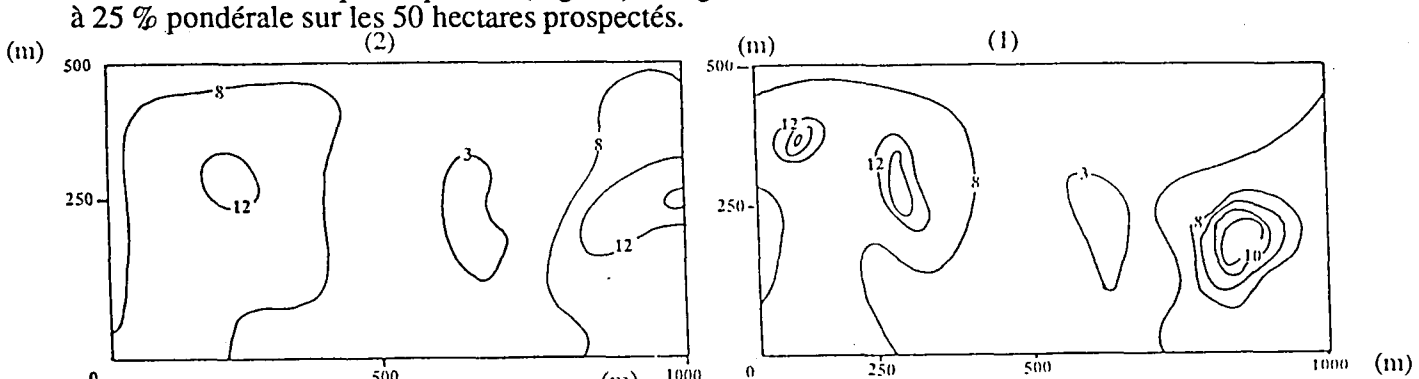


Fig. 11 - Carte des salures du sol sur 120 cm, (1) : CEsat (0-120) mesurée directement sur échantillons prélevés à la tarière et (2) : mesures CEM converties en CEsat (0-120).

CONCLUSION

Notre premier objectif était donc d'appréhender en Tunisie les problèmes de la salinité des sols à l'échelle du périmètre irrigué. Pour y arriver, nous avons proposé une méthodologie adaptée aux variables dont dépend l'évolution de la salinisation. Après une enquête et des mesures préliminaires sur le terrain, nous avons retenu un réseau d'observatoires. La variable spatialisée adoptée, c'est à dire, la salure globale apparente mesurée par conductivimètrie électromagnétique, a permis de nous affranchir de l'hétérogénéité de la répartition des sels dans le sol.

La cartographie basée sur la géostatistique permet de définir les tendances spatiales de variation et l'évolution dans le temps tout en maîtrisant l'erreur d'estimation.

Pour le transfert des résultats, les unités de paysage sont définies sur la base de critères agropédologiques. La parcelle représentative est un sous-ensemble d'unités fonctionnelles homogènes dans lesquelles sont faites les mesures. Le transfert d'échelle impose :

- le choix d'une variable qui garde sa signification à toutes les échelles étudiées,
- la connaissance de sa structure au sens géostatistique,
- la division de l'ensemble en autant d'unités susceptibles de variations semblables au cours du temps,
- la définition d'un pas de temps et d'une durée des mesures.

Ceci fait, le transfert d'échelle est possible entre parties du paysage soumises à des variations de même nature et de même sens.

Cette démarche impose un grand nombre de mesures et une connaissance minimum du phénomène à toutes les échelles et en tous points de la zone étudiée. Mais les résultats acquis peuvent être régionalisés, ce qui est un intérêt majeur et général.

Concernant la dynamique des sels dans les zones irriguées, nous avons pu montrer que l'ensemble de la Tunisie pouvait être divisé en zones géochimiques homogènes à l'intérieur desquelles la précipitation des sels dans le paysage par évaporation pouvait être prédite par la détermination des ions appariés dans la solution du sol.

On dispose ainsi d'un dénominateur géochimique commun qui permet de passer de l'échelle du périmètre irrigué à celle du petit bassin versant.

Seule une approche systémique permettra de préconiser des économies d'eau tout en maintenant la production agricole et la salure des sols à un niveau acceptable, sur l'ensemble du territoire.

BIBLIOGRAPHIE

BEN HASSINE H., HACHICHA M., JOB J.O., LOYER J.Y., 1988. - La Conductivité électromagnétique : application au suivi de la salinité des sols des périmètres irrigués de Tunisie. Pub., DS/Orstom, 23 p.

BOVIN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988. - Conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique des sols salés : une méthode rapide et fiable. Cah., ORSTOM sér., Pédol. vol. XXIV, n° 1, p. : 39-47.

BOVIN P., HACHICHA M., JOB J.O., LOYER J.Y., 1989. - Une méthode de cartographie de la salinité des sols. Science du sol, Bull. de l'Association Française pour l'Etude du Sol, vol. 27, n° 1, p : 69-72.

EL IDRISSI M.R., 1988. - Diagnostic de la salure des sols par mesure de la résistivité électrique "in situ". ORSTOM-Tunis, 43 p.

HACHICHA M., MOHDI M., SOUSSI A., 1990 - La salinité des terres dans le Kairouanais à travers le suivi des parcelles dans trois périmètres irrigués. DS, Tunis, 28 p.

HACHICHA M., DJELIDI B., TRABELSI A., BRARI N., 1992 - Impact du drainage sur les variations saisonnières de la salinité dans le périmètre de Cebala-Borj Touil, irrigué aux eaux usées épurées. Dir., des sols, E-S 264.

HACHICHA M. et JOB J.O., 1994. - Suivi de la salure des périmètres irrigués de Tunisie par conductivimètrie électromagnétique. Rapport final, DS/ORSTOM, 87 pages.

HACHICHA M. JOB J.-O. et MTIMET A., 1994 - Les sols salés et la salinisation en Tunisie. Sols de Tunisie n° 15, bulletin de la Direction des sols, 47 pages.

JOB J.O. LOYER J.Y. , AILOUL M., 1987 - Utilisation de la conductivimétrie électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. , Vol. XXIII, n° 2 p : 123-131.

JOB J.O., MOHDI M., HACHICHA M. 1989-Suivi de l'évolution de la salinisation des terres dans le périmètre irrigué de Sidi-Saâd. Direction des sols, ES-255.

JOB J.O., HACHICHA M., LOYER J.Y., 1990 - conductivimétrie électromagnétique et cartographie de la salinité des sols. ORSTOM/DS, 33 p.

JOB J.O., MERAI M., 1990 - Etude de la salinité de l'oasis d'El Guettar. D./Sols, ES-258.

JOB J.O., HACHICHA M., 1991 - Notion d'échelle et variabilité spatiale de la salure des sols. Séminaire ORSTOM/IFREMER, "Séminfor 4", 11-13 sept. Brest, 3 p.

JOB J.O., MERAI M., 1992 - Origine et gestion des sols salés de l'oasis d'El Guettar. Direction des sols, Etude n° 627, 56 p.

JOB J.O., 1992 - Les sols salés de l'oasis d'El Guettar. Thèse, Univ. , Montpellier II. 150 p.

McNEILL J.-D., 1980. - Electrical conductivity terrain measurement at low induction numbers. Technical note n° TN-6, Geonics Ltd, Mississauga, Canada.

USSL, 1954. - Handbook n° 60, USDA.

GDA 9160

VARIABILITE DES PROPRIETES DES SOLS DU PERIMETRE DE KALAAT LANDELOUS ET RISQUES DE SALINISATION

BOUKSILAF*., HACHICHA M*. ET MHIRI A**.

*** Direction des Sols**
**** I. N. A. T.**

RESUME

Le périmètre irrigué de Kalaât Landelous, installé sur des sols lourds, affectés par des caractères d'hydromorphie et d'halomorphie, court de gros risques de dégradation de ses sols. Létude s'est proposée de procéder à leur caractérisation hydro-pédologique, à la connaissance de leur fonctionnement et à l'appréciation des risques qu'ils encourent .

A tous les niveaux d'observation, l'hétérogénéité et l'anisotropie apparaissent comme des caractéristiques des sols . La bonification de ces sols salés doit s'opérer forcément à travers l'amélioration de leurs propriétés physiques . Le suivi spatio-temporel a mis en évidence que les variabilités du niveau de la nappe, de sa salinité et de celle du sol sont analogues . Sans lessivage, l'irrigation conduit à la salinisation des sols . Trois zones à risque ont été identifiées .

1. INTRODUCTION

Dans les zones arides, le recours aux eaux de qualité moyenne et parfois médiocre pour l'irrigation, s'accompagne de risques de salinisation et d'alcalinisation des sols plus ou moins élevés . Le périmètre de Kalaât Landelous, caractérisé par un déficit hydrique climatique important, une texture fine et situé près de la mer, draine faiblement les eaux d'une nappe salée peu profonde . La plaine récemment aménagée par un réseau d'irrigation et de drainage, constitue un cas d'aménagement hydro-agricole original, susceptible de fournir d'importantes informations sur la bonification de sols médiocres par l'irrigation et le drainage . Les dangers de dégradation des sols que court ce périmètre impose une évaluation des régimes hydrique et salin et une identification des risques de salinisation .

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Le milieu physique du périmètre

La plaine de Kalaât Landelous est située à 35 km au nord de Tunis sur la rive droite de la Mejerda en bordure de la mer Méditerranée (Fig.1.) .

La pluviométrie moyenne annuelle est de 470 mm, caractérisée par de fortes irrégularités intra et inter-annuelles (bioclimat méditerranéen semi-aride supérieur), avec un déficit hydrique climatique de 896 mm/an de mai jusqu'à octobre, aveç un pic de 204 mm au mois de juillet .

Cette plaine alluviale côtière, récemment gagnée sur la mer, est caractérisée par une quasi-platitude et une altitude inférieure à 5 m . Le réseau hydrographique est constitué de l'Oued Mejerda et de ses anciens affluents . Avant la mise en valeur de ces sols, deux oueds drainaient le périmètre qui sont devenus depuis des bras morts .

Les sols sont constitués d'alluvions argilo-limoneuses déposées par la Mejerda . Ce sont des sols peu évolués d'apport alluvial à caractère vertique et d'halomorphie et d'hydromorphie en profondeur (D.R.E.S, 1981) .

L'aménagement hydro-agricole du périmètre a démarré en 1986 . Pour la mise en valeur, un réseau d'irrigation et de drainage a été installé . Les collecteurs débouchent dans deux émissaires principaux qui véhiculent les eaux vers une station de pompage (P4) permettant leur refoulement vers la mer . Le périmètre est divisé en unités parcellaires de 5 hectares, chacune desservie par une borne d'irrigation . Pour alimenter le périmètre, les eaux d'irrigation provenant de la Mejerda sont acheminées par une station de pompage (P2) .

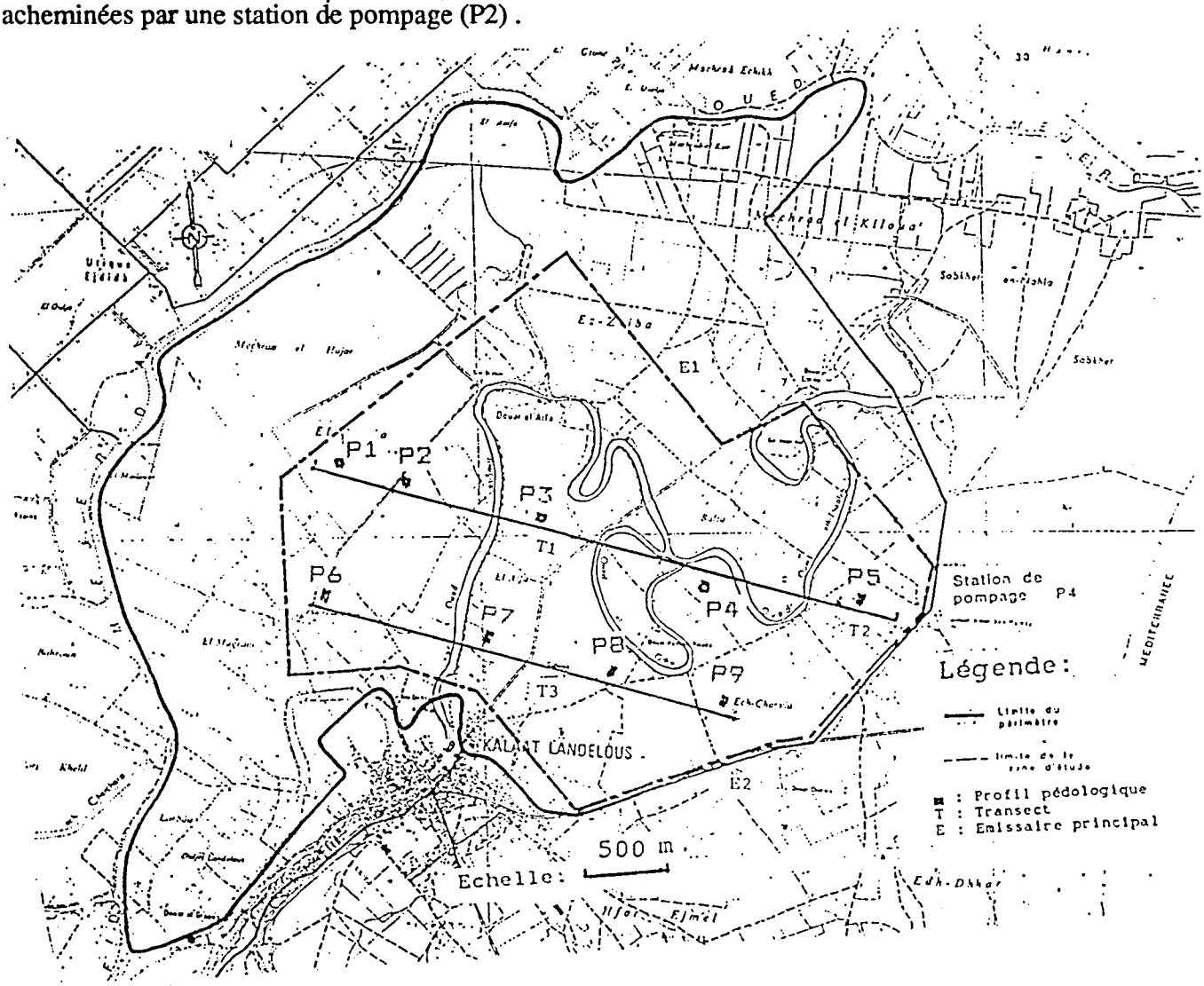


Figure 1. Le périmètre de Kalaât Landelous

2.2. Méthodes

L'approche intègre au traitement statistique habituel, l'analyse géostatistique qui permet la détermination des structures spatiales à travers une interpolation de l'information dans les points non mesurés (Gascuel-Odoux, 1984; Boivin, 1991) . Le fonctionnement hydro-pédologique des sols est analysé à différentes échelles .

Les 1400 ha entourés par les émissaires ont été découpés selon leur fraction granulométrique, en unités fonctionnelles homogènes. Les mesures, au départ réalisées selon une maille de 360 m sur 240 m, ont été ramenées à 200 m le long d'un transect amont-aval de longueur égale à 5200 m (Tl). Pour apprécier la variabilité intra-unité des propriétés des sols, des mesures ont été effectuées tous les 20 m sur un segment situé à l'aval du transect Tl de longueur égale à 500 m (T2). La variabilité verticale des propriétés des sols a été étudiée au niveau de profils pédologiques répartis sur le transect.

Les régimes hydriques et salins des sols et de la nappe ont été cernés par le suivi spatio-temporel du niveau de la nappe et de sa salinité et de la salinité du sol. Nous avons tenté d'estimer les besoins de lessivage et de prévoir l'évolution de la salinité des sols selon un modèle qui permet l'étude du bilan des sels et des eaux dans la zone racinaire (Thabet, 1979) .

3. RESULTATS

3.1. Les unités texturales

Malgré l'homogénéité apparente de la texture argileuse à argilo-limoneuse, l'étude statistique révèle que la variabilité des fractions granulométriques est moyenne pour les fractions fines, argile et limon fin, et forte pour les fractions grossières, limon grossier et sable (Tab. 1.) .

Tableau 1. Analyse statistique des fractions granulométriques .

Niveau (cm)	Fraction	Min.	Moy.	Max.	σ	CV (%)
10	A	5	34	57	10.8	32
	Lf	14	34	73	10.3	30
	Lg	2	21	42	10.3	49
	L	37	55	99	8.5	15
	S	0	10	38	7.5	75
50	A	7	37	62	13.2	36
	Lf	4	30	61	10.4	35
	Lg	0	19	42	10.3	54
	L	27	49	77	11.6	24
	S	0	11	89	15.6	142
100	A	6	31	62	12.6	41
	Lf	1	27	63	10.9	40
	Lg	1	24	48	11.6	48
	L	2	51	76	12.9	25
	S	0	16	97	18.5	116
150	A	6	27	67	11.6	43
	Lf	5	24	51	11.1	46
	Lg	0	27	51	11.6	43
	L	5	51	79	13.8	27
	S	0	20	87	17.9	89
200	A	5	29	60	12.7	44
	Lf	1	25	51	11.5	46
	Lg	2	24	53	11.2	47
	L	4	50	71	13.8	28
	S	0	20	95	21.2	106

avec A : argile; Lf : limon fin; Lg : limon grossier; L = Lf+Lg et S : sable; σ : écart-type et CV : coefficient de variation .

Les histogrammes de fréquence pour la plupart des fractions granulométriques sont multi-modaux . Le sol est ainsi hétérogène et non uniforme (Freeze, 1975) . La texture est plus fine en surface qu'en profondeur . Les variogrammes directionnels indiquent une anisotropie (Fig.2) . On parvient, sur la base de la fraction A+Lf, à identifier 9 unités fonctionnelles homogènes (Fig.3) . Contrairement à la majorité des sols du périmètre où la texture fine prédomine, les sols entourant les bras morts sont à texture moins fine .

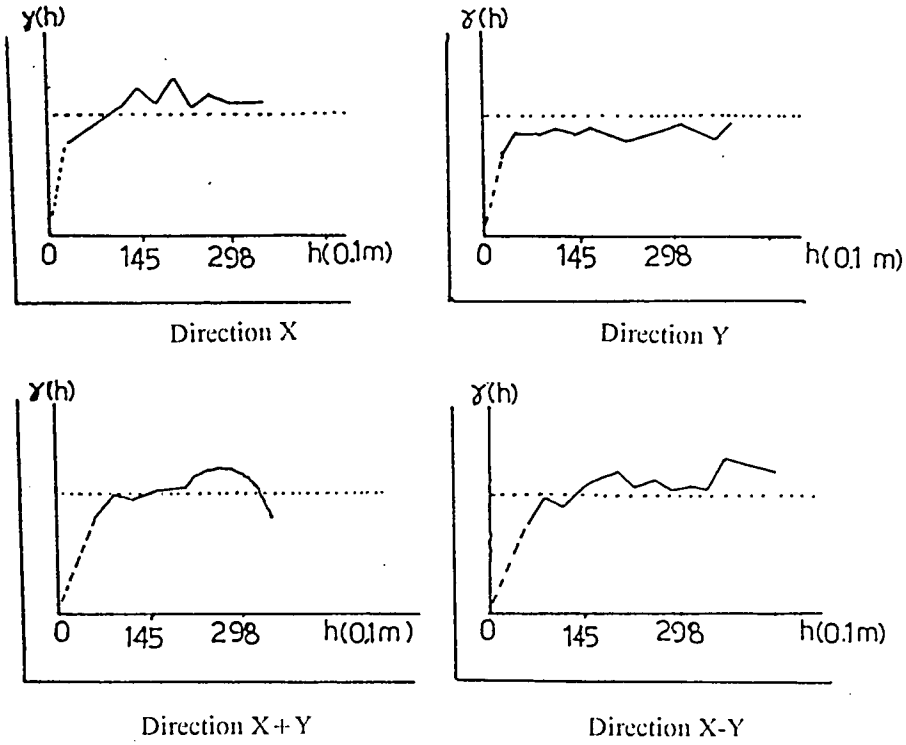


Fig.2. Variogrammes directionnels de la texture.

UFH		Niveau (cm) 10	50	100	150	200
I	++	+	+	+	+	+
II		-	-	-	-	-
III		+	+	+	+	-
IV		+	+	+	-	+
V		+	+	-	-	+
VI		-	+	+	-	-
VII		-	-	+	-	-
VIII		+	+	+	-	-
IX		+	+	-	-	-

UFH: Unité fonctionnelle homogène
+ : %(A+Lf)>60%
- : %(A+Lf)>60%
. : Profil pédologique
T : Transect
E : Emissaire principal

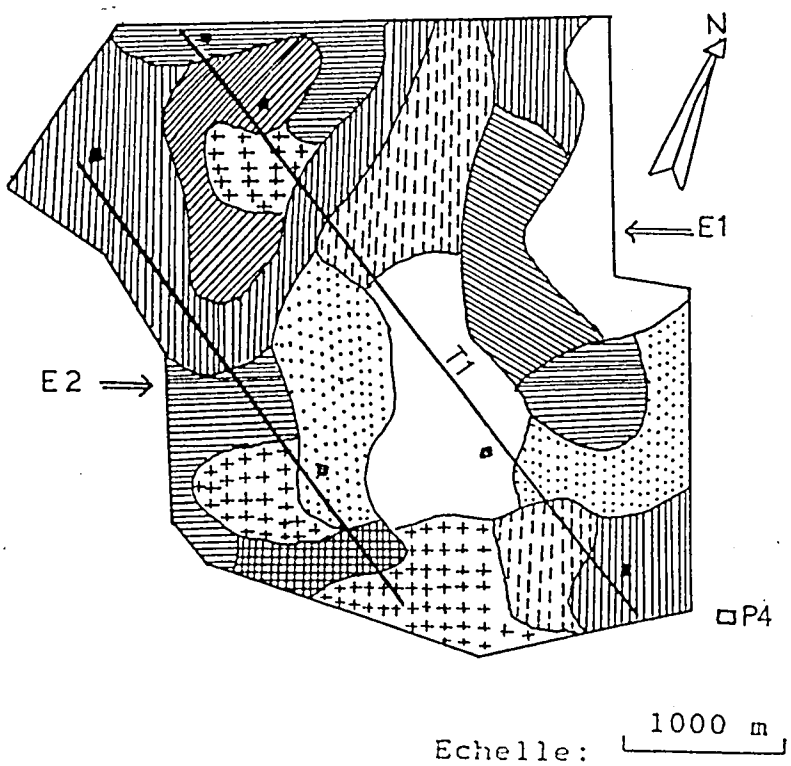


Fig.3. Les unité texturales

3.2. Variabilité des propriétés des sols
3.2.1. Variabilité spatiale

L'hétérogénéité et l'anisotropie qui caractérisent la texture dans le périmètre se maintiennent malgré des pas de mesures de 200 m sur T1 et de 20 m sur T2. Les variogrammes présentent toujours une pépite élevée traduisant une forte variabilié à l'origine (Bouksila, 1992) .

La variabilité spatiale de la salinité (CEe) est partiellement expliquée par des propriétés physiques défavorables . Là où la salinité est forte, la densité apparente l'est aussi (Fig.4) . Cette constatation n'est plus valable dans le secteur des bras morts . Le sol y est désalinisé . Seule la sodicité des sols mesurée par le rapport Na/T reste élevée en dépit de la position dans le paysage . La perméabilité des sols, faible à moyenne, est fortement dispersée .

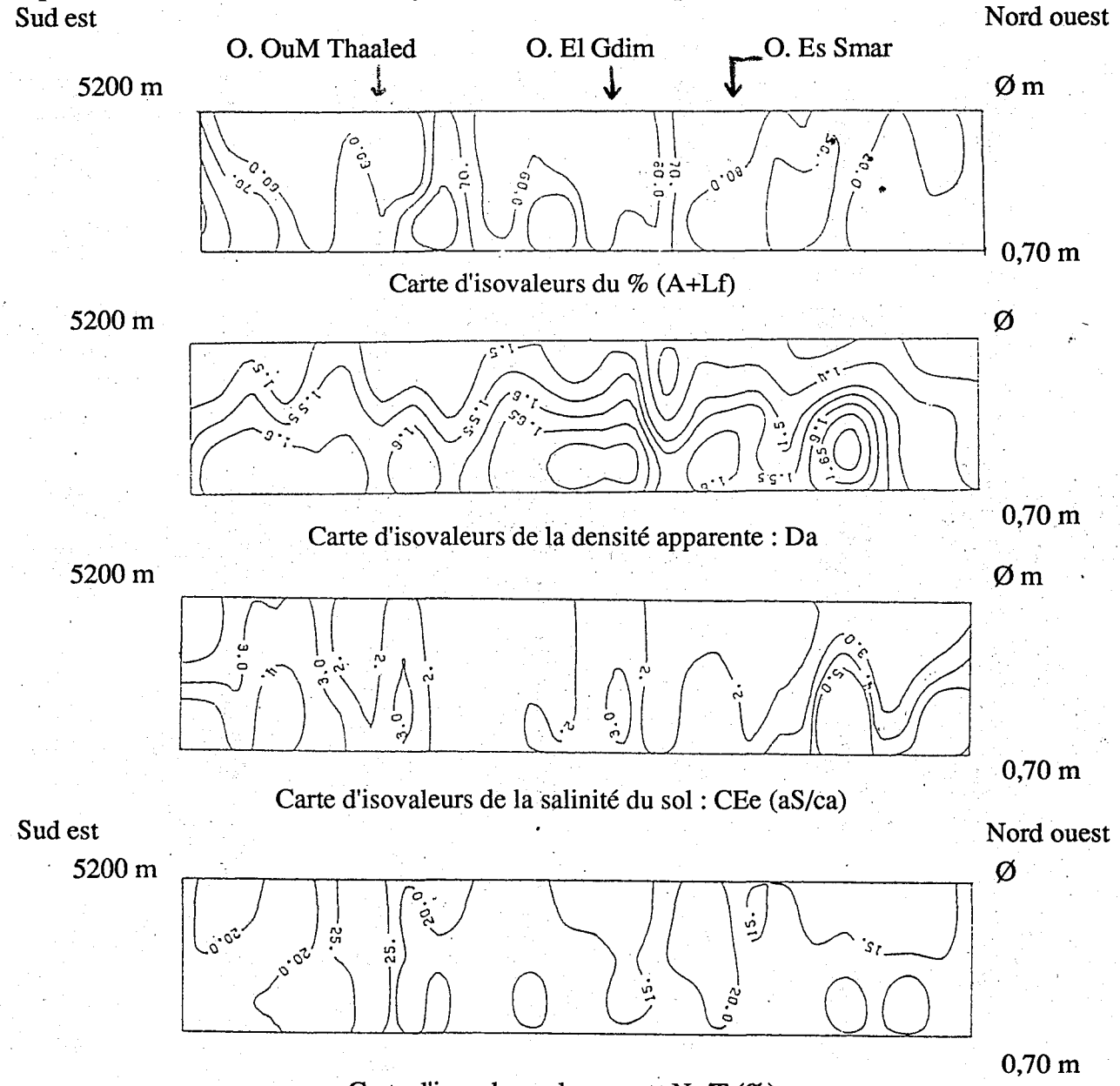


Fig. 4. Variabilité des propriétés physiques et de la salinité sur le transect T1

3.3.2. Variabilité verticale

Au niveau des profils pédologiques, des horizons de texture plus limoneuse s'intercalent entre des horizons de texture fine. Ces strates, situées à moins de 1 m de profondeur, sont le siège d'une accumulation de sels pouvant résulter de la formation d'une nappe perchée pendant les saisons humides (Fig.5) . Ce genre de nappe a été bien observé dans ce périmètre .

Profil 1

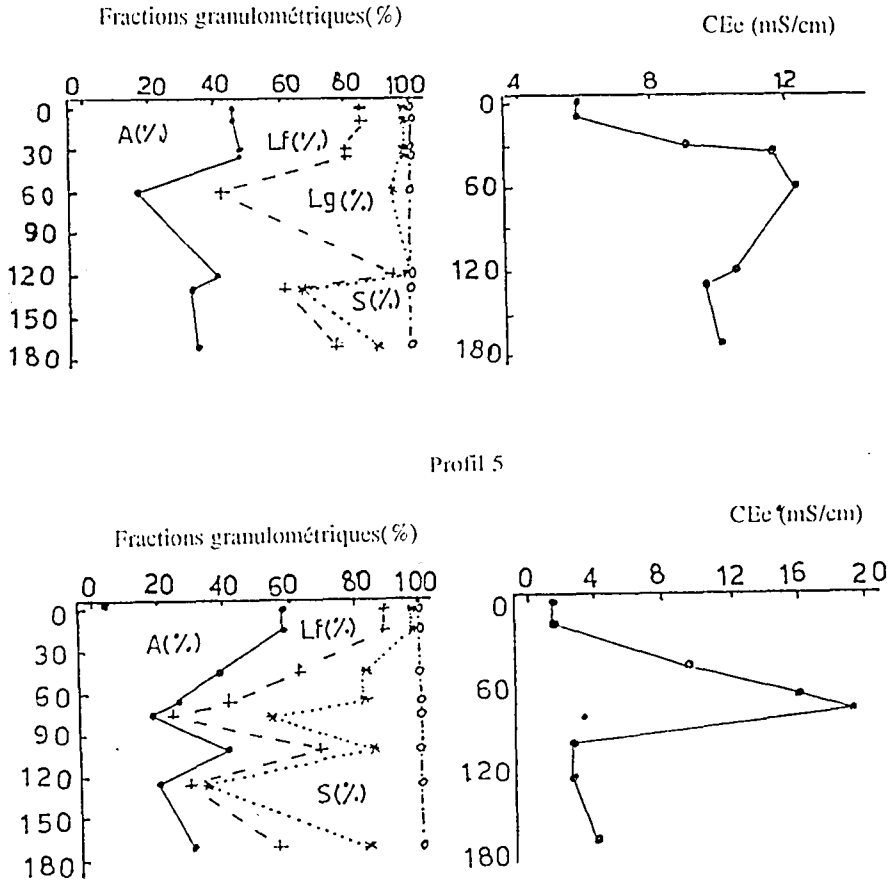


Fig.5. Variation verticale de la texture er de la salinité .

3.3. Variabilité de la nappe

En été, les zones caractérisées par une texture fine et un drainage naturel réduit, présente la nappe la moins profonde et la salinité de la nappe la plus élevée (> 20 mS/cm) . La salinité du sol y est aussi excessive (Fig.6.) Les zones dont la texture est moins fine et qui bénéficient d'un drainage naturel satisfaisant, ont une nappe à plus de 220 cm avec une salinité du sol et de la nappe les plus faibles . En hiver, la salinité des sols présente les mêmes tendances de variation spatiale que celles observées en été . Au Nord Ouest et au Sud du périmètre, le niveau de la nappe qui se situe au-dessus du niveau des drains, traduit un drainage déficient (Bouksila, 1992) ;

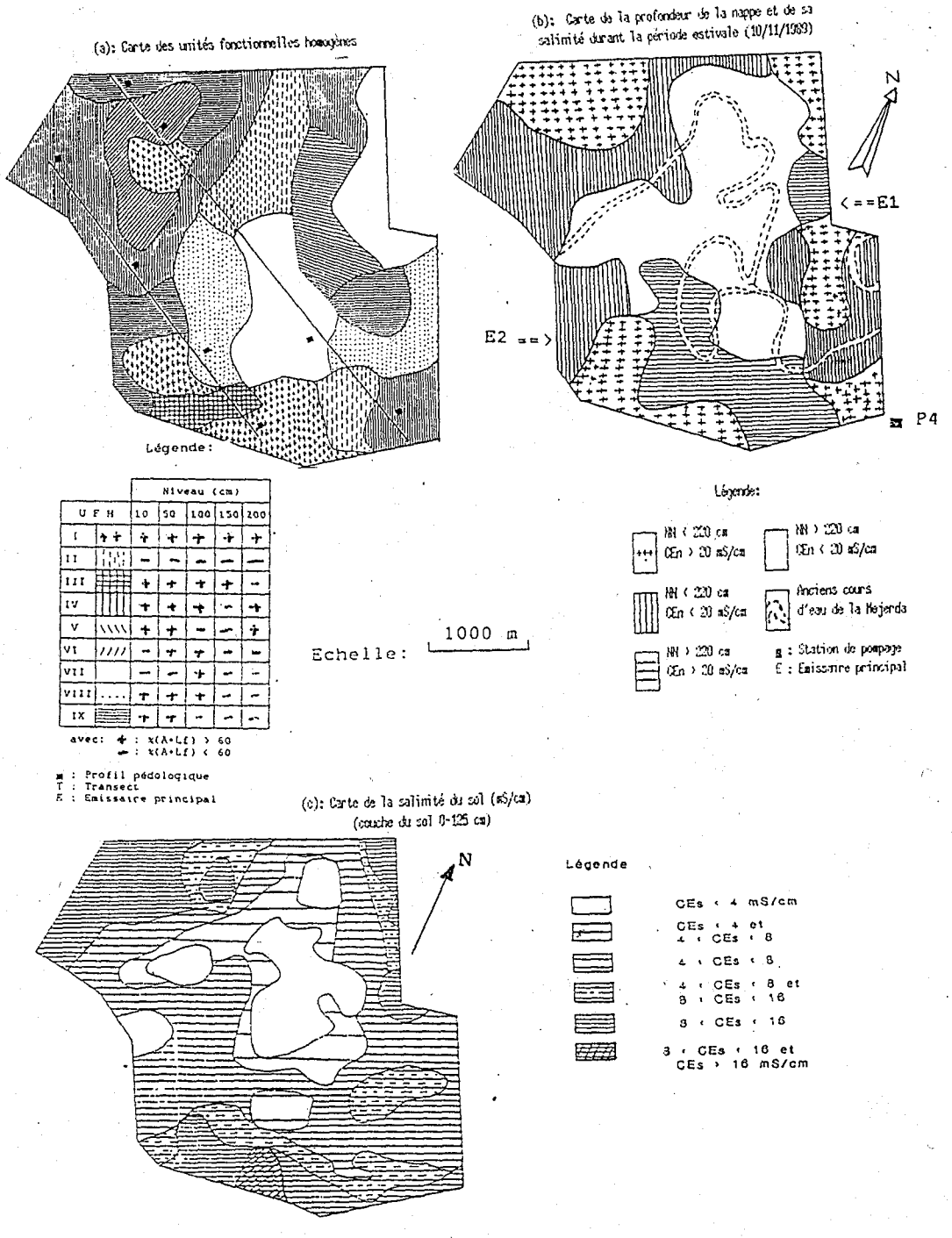


Fig.6. Effet de la texture et du drainage naturel sur la variabilité des caractéristiques de la nappe et de la salure des sols (10/11/1989).

3.4. Lessivage des sels

Le suivi des volumes d'eau drainés par la station de pompage P4, qui permet le refoulement de l'eau de drainage vers la mer, permet d'évaluer le volume exporté d'octobre 89 à juin 90 par 420 mm d'eaux de pluies à plus de 3,5 millions de m3 soit environ 28 000 tonnes de sels pour une qualité variant entre 6,5 et 11 g/1.

Entre temps, la variation de stock de sels dans la couche 0-170 cm est d'environ 25 133 tonnes de sels de moins (Bach Hamba, 1992) . Ce même ordre de grandeur des quantités de sels évacuées hors du périmètre calculé de deux manières différentes, fait que le contrôle des sorties de sels au niveau de la station de pompage P4.et des entrées par les eaux d'irrigation au niveau de P2, est susceptible de constituer un outil de contrôle de l'évolution de la salinité du périmètre.

Pour une eau d'irrigation titrant environ 4,1 mS/cm (juin 1989) et pour subvenir aux besoins nets des cultures, l'apport en sels est d'environ 7,5 tonnes par hectare. Le lessivage s'impose pour éviter une accumulation des sels dans la zone racinaire, supérieure au seuil de tolérance des cultures. Le seuil a été fixé à 4 mS/cm et à 6 mS/cm dans l'étude du projet (SCET et al., 1981) . Trois scénarios de la période d'apport de la fraction de lessivage ont été testés : le lessivage d'hiver, d'automne ou avec les irrigations (Tab.2) . Pour une fraction de lessivage de 28 %, une efficience de lessivage de 0,4 et une CEe initiale du sol de 4 mS/cm, l'apport d'une fraction de lessivage complémentaire à la dose d'irrigation contribue à la salinisation du sol (Tab.3) Les lessivages d'hiver et d'automne sont par contre plus efficaces, et le lessivage hivernal est encore meilleur parce que la salinité de l'eau d'irrigation est à son niveau le plus faible et le débit fictif continu au mois de pointe est réduit . Toutefois, au niveau pratique, il reste à vérifier la faisabilité du lessivage d'hiver et son acceptabilité par l'agriculteur .

Tableau 2. Calendrier des apports de la fraction de lessivage (mm).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1°cas	30	34	40									
2°cas										40	34	30
3°cas				10	12	22	29	25	6			

Tableau 3. Evolution de la salinité du sol (CEe) pour les trois hypothèses de lessivage.

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1°cas	4	4.20	4.51	4.94	5.27	5.33	5.19	5.00	4.71	4.32	3.98	3.69	3.75
2°cas	4	4.20	4.51	4.94	5.27	5.33	4.88	4.47	4.00	3.90	3.75	3.65	3.71
3°cas	4	4.23	4.54	4.96	5.29	5.35	5.21	5.00	4.73	4.53	4.35	4.20	4.25

3.5. Prévision des risques de salinisation des sols sous irrigation

La prévision de l'évolution de la salinité du sol a été simulé par le modèle de Thabet (1979) qui se limite à l'étude de l'effet des eaux d'irrigation.

Dans dix ans, et pour des pluies annuelles de 450 mm, la salinité du sol serait de 3,4 mS/cm pour un sol de salinité initiale comprise entre 4 et 6,75 mS/cm durant le mois d'Avril (Tab.4) . Si les pluies se raréfient (moins de 450 mm deux fois sur dix ans), la salinité serait d'environ 5 mS/cm (Tab.5.) . En conséquennce, l'irrigation de ce périmètre ne semble pas pouvoir entraîner la salinisation des sols si l'irrigation est bien conduite avec un lessivage efficace, un drainage satisfaisant et une pluviométrie moyenne .

Tableau 4. Evolution de CEe du sol du mois d'avril pour une période de 10 ans, P=450 mm (Simulation par le modèle Thabet, 1979).

	Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	CEe= 4	4	3.75	3.61	3.52	3.47	3.44	3.42	3.41	3.40	3.40
	CEe= 6.75	6.75	5.39	4.58	4.10	3.81	3.64	3.54	3.48	3.44	3.42

Tableau 5. Evolution de CEe du sol du mois d'avril pour une période de 10 ans, Pu de fréquence 0,8.

	Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P (0.8)	CEe= 4	4	4.28	4.47	4.60	4.68	4.73	4.76	4.79	4.80	4.80
	CEe= 6.75	6.75	6.00	5.65	5.37	5.18	5.00	4.98	4.93	4.90	4.87

Toutes ces condition ne sont pas réunies dans la totalité du périmètre puisque nous avons mis en évidence l'hétérogénéité des propriétés physiques assurant le drainage du sol.

3.6. Zonation des risques de salinisation

Sur la base de la variabilité des caractéristiques de la nappe et des sols, trois zones à risque de salinisation ont été définies (Fig.7 et Tab.6) :

- une zone à faible risque, située au milieu du périmètre entourée par les axes de drainage naturel. Elle a une superficie d'environ 400 ha. La texture est la moins fine. La nappe est profonde (entre 220 et 290 cm en été et 120 à 180 cm en hiver) et la salinité est toujours inférieure à 15 mS/cm. Quant au sol, il est faiblement salin (CEe<4mS/cm).

- une zone à risque de salinisation moyen : elle sépare la zone à haut risque de celle à faible risque de salinisation. Elle a une superficie d'environ 500 ha et comprend :

- une zone argileuse à argilo-limoneuse, peu perméable (environ 0,58 cm/h). La salinité du sol est faible en surface et moyenne en profondeur et le rapport Na/T>15. La nappe de salinité comprise entre 10 et 20 mS/cm, est située à environ 200 cm en été et 100 cm et hiver.

- une zone argileuse, assez perméable, sol sodique et moyennement salé, la nappe est à environ 200 cm en été et 100 cm en hiver et la salinité varie entre 20 mS/cm en été et 15 mS/cm en hiver ;

- une zone à risque de salinisation élevé. Elle a une superficie totale d'environ 500 ha, elle comprend :

- au nord-ouest, une superficie égale à 150 ha, caractérisée par un sol hétérogène, argileux à argilo-limoneux, très peu perméable (environ 0,2 cm/h), assez salé et sodique. En été, la nappe oscille entre 120 et 210 cm et sa salinité entre 10 et 30 mS/cm. En hiver, elle se situe à environ 100 cm et sa salinité est comprise entre 15 et 30 mS/cm.

- au sud et à l'est, le sol est argileux, la salinité et la sodicité sont étevées. En été, la nappe oscille entre 180 et 220 cm et sa salinité est supérieure à 25 mS/cm. En hiver, la nappe s'élève à moins de 120 cm et sa salinité baisse à moins 30 mS/cm.

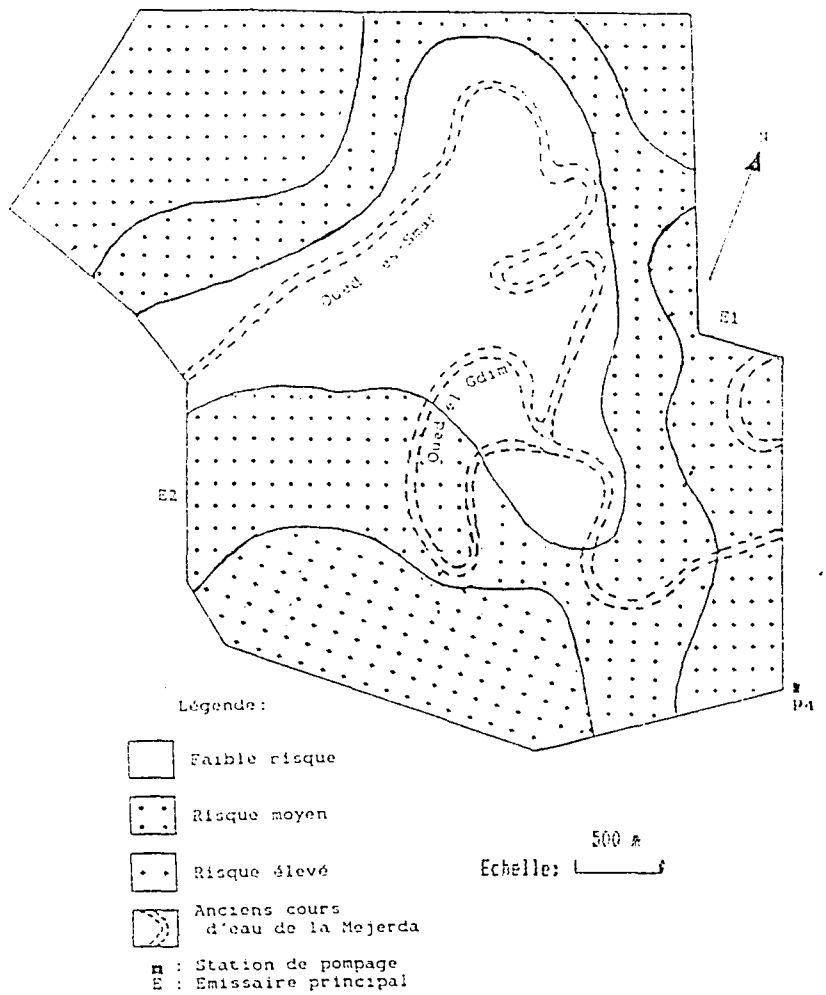


Fig.7. Les zones à risque de salinisation

Tableau 6. Tableau récapitulatif des zones à risque de salinisation et des facteurs de risque en conditions d'irrigation et de drainage.

Zone à risque / Facteurs de risque		Rive droite de Oued Es Smar et zone des méandres		Zone intermédiaire				Zone limitrophe			
				Rive gauche de Oued Es Smar		Sud et nord-est		Nord-ouest		Sud et est	
TEXTURE		- Argileuse à limoneuse dans la couche du sol 0-110 cm de la zone centrale - Trés argileuse en profondeur (%A>50) au niveau de Oued Gdim.		Argileuse à argilo-limoneuse		Argileuse au moins sur trois niveaux de prélèvement		- Argileuse à argilo-limoneuse - Très hétérogène - Présence de stratification.		La plus argileuse du périmètre, le % (A+Lf) > 60 sur 4 ou 5 niveaux de prélèvement.	
NAPPE:		Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver
Niveau (cm) Salinité (mS/cm)		220-290 5-15	120-180 < 15	180-220 10-20	100-120 10-20	200-230 15-25	100-120 10-20	120-210 10-30	100-120 15-30	180-220 25-55	60-120 20-30
SALURE DU SOL	Surface	CEe < 4 mS/cm et Na/T > 15%		CEe < 4 mS/cm et Na/T > 15%		4< CEe <8 mS/cm et Na/T > 15%		8<CEe<12 Na/T>15%	4<CEe<8 Na/T>15%	8<CEe<16 Na/T>15%	4<CEe<8 Na/T>15%
	Profondeur	4<CEe<8 mS/cm et Na/T > 15 %		4<CEe<8 mS/cm et Na/T < 15%				8<CEe<16 Na/T>15%	8<CEe<16 Na/T>15%	CEe> 16 Na/T>15%	8<CEe<16 Na/T>15%
Prévision de CEe (mS/cm) sous irrigation sur l'horizon 0-80 cm		Sep.	Avril	Sep.	Avril	Sep.	Avril	Sep.	Avril	Sep.	Avril
		2 - 4	< 5	2 - 4	< 5	5 - 7	3 - 5	6 - 8	5 - 6	6 - 8	5 - 6
Hiérarchisation des facteurs de risque		Texture (au niveau de Oued Gdim)		- Texture - Nappe		- Nappe et texture.		-Texture et nappe - Salinité initiale du sol		Nappe, texture et salinité initiale du sol	
Risque de salinisation		Faible		Moyen				Elevé			

CONCLUSION

Le périmètre irrigué de Kalaât Landelous encourt des risques élevés de dégradation de ses sols .

Au différentes échelles d'observation, il ressort que le sol est hétérogène et anisotrope . La texture est fine en surface et moins fine en profondeur . La fraction argile plus limon fin s'avère être un bon paramètre représentatif de la variabilité spatiale de la texture . Sur cette base, 9 unités fonctionnelles homogènes ont été définies . La variabilité spatiale du niveau de la nappe, de sa salinité et de la salinité du sol sont analogues .

Le contrôle simultané des sorties des sels au niveau de la station de pompage et des apports de sels par les eaux d'irrigation permet d'établir un bilan annuel susceptible de constituer un outil de contrôle de l'évolution de la salinité du sol.

Sans fraction de lessivage, les sols se resalinisent . Les eaux pluviales sont incapables d'éviter ce phénomène . Le lessivage artificiel est plus bénéfique en hiver . Dans le cas d'un drainage adéquat, les eaux d'irrigation ne constituent pas un facteur de salinisation des sols .

Pour le contrôle de l'évolution de la salinité et le choix des assolements, trois zones à risque de salinisation ont été identifiées . Dans celle à risque élevé, l'installation de nouvelles files de drains enterrés d'écartement égal à 20 m, est à envisager lorsque l'intensification des irrigations prendra de l'ampleur .

BIBLIOGRAPHIE

Bach Hamba I., 1992 - Bonification des sols . Cas du périmètre irrigué de Kalaât Landelous . Caractérisation de la salinité initiale du sol en vue de la détérmination des facteurs et des zones à risque de salinisation . Mémoire du cycle de spécialisation en pédologie et mise en valeur des terres . INAT .

Bouksila F., 1992 - Bonification des sols . Cas du périmètre irrigué de Kalaât Landelous . Caractérisation physique des sols et étude de la variabilité spatiale de leurs propriétés en vue de la détermination des facteurs et des zones à risque de salinisation . Mémoire du cycle de spécialisation en pédologie et mise en valeur des terres. INAT .

Boivin P., 1991 - Caractérisation physique des sols sulfatés acides de la vallée de katouré (Basse Casamance, Sénégal). Etude de la variabilité spatiale et relation avec les caractéristiques pédologiques Collection Etudes et Thèses . Edition ORSTOM .

CRUESI, 1970 - Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées, 1962-1969 . Rapport technique .

DRES, 1981 - Plan directeur des eaux du Nord . Etude pédologique de l'extension du périmètre de Kalaât Landelous .

Freeze R.A. 1975 - A stochastic conceptuel analysis of one dimentional ground water flow in non uniform homogeneous media. Water Ressour . Res., 11 pp. 725-747 .

Gascuel-Odoux C., 1984 - Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse de Doc. Ing. ENMP et UPMC Paris VI.

SCET-Int., SCET-Tunisie, CNEA et EGTH, 1981 - Plan directeur des eaux du nord (2ème tranche) . Périmètre de la basse vallée de la Mejerda .

CNRS164

UTILISATION DES EAUX SAUMATRES DU SUD DANS L'IRRIGATION DES OASIS DE GABES

ADEL SAID

ARRONDISSEMENT DES SOLS - GABES

RESUME :

Les oasis de Gabès ont des sols aptes à l'irrigation et ce depuis des millinaires. Caractérisés par une texture sablo-limoneuse, ces sols sont marqués par l'accumulation des sels (chlorures ou sulfates) à différentes profondeurs. Leur perméabilité est bonne et permet dans une certaine mesure l'évacuation des excès de sels apportés par l'eau d'irrigation dont le faciès géochimique est généralement sulfato-chloruré sodique avec des résidus secs variables de 2,8 à 4 g/l.

Au début des années 80, les oasis étaient faiblement valorisées à cause d'une multitude de contraintes. Cette situation a été remplacée après 1990 lorsque le projet de sauvegarde des oasis de Gabès a commencé à donner ses fruits par les nouvelles structures et la meilleure gestion et organisation de l'espace agricole et de l'eau. Une nette diminution de la salure des sols et une remarquable amélioration de l'état général des oasis sont les conséquences de cette nouvelle situation malgrès les nombreuses contraintes de nature sociale et autre qui menacent ce patrimoine très valeureux.

L'amélioration de l'état actuel reste possible par une gestion plus adéquate des ressources hydriques de plus en plus rares, qui adapte les techniques économisatrices d'eau avec les particularités de l'agriculture oasienne.

DONNEES PEDOLOGIQUES

On peut résumer les résultats des études pédologiques des années 1965, 1966 et 1968 dans les faits les plus importants.

1) Types de sols; Ce sont généralement des sols :

- peu évolués d'apport fluviatiles.
- Hydromorphes à pseudogley ou à gley (avec présence d'une nappe).
- Salés à structure dégradée ou non dégradée mais surtout à encroûtement gypseux de nappe.

Ces sols occupent les terrasses d'oueds ou les bordures de dépressions salées (sebka).

2) L'épaisseur de la couche meuble est généralement supérieure à 80 cm.

3) La texture est essentiellement à sables fins, dans les premiers horizons devenant limono-sableuse et parfois argilo-sableuse en profondeur.

4) La salure est omniprésente dans tous les sols et les teneurs sont parfois très importantes aux abords des dépressions salées.

5) La pente est parfois très faible.

(pour plus de détail, il est conseillé de consulter des documents cartographiques).

DONNEES ACTUELLES

a) Climat :

Evoluant sous un climat méditerranéen aride à étage bioclimatique inférieur (le Houerou, 1969) les oasis côtières bénificient de la proximité de la mer.

Ce climat est caractérisé par la longueur de la saison sèche (9 à 10 mois) une précipitation moyenne annuelle de 187 mm, un E.T.P (Thornthwaite) d'environ 1000 mm, une évaporation (Piche) 2022 mm et une température moyenne annuelle Est et Nord-Est avec 28 jours de sirocco par an.

b) Géologie :

Le substratum géologique est représenté essentiellement par des formations du mio-plio-quaternaire ; argiles, sables et gypses. Les alluvions du quaternaire récent constituent le support des terres des oasis. En effet, ces terres se situent sur des terrasses sub-actuelles de sables (fins) et limons dont l'épaisseur est généralement supérieure à 2 m. La vallée de l'oued joue le rôle de drain naturel.

Il est à noter que l'environnement pédologique de ces oasis est dominé par la croûte gypseuse très épaisse (> 2 m) qui apparaît dans certains cas en surface.

Les accumulations sableuses (dunes mobiles) sont observées dans l'axe des oasis de Chott El Fejaj Ben Ghilouf - El Khebaiêt-Bechima-El Hamma.

- Etat hydrique :

Les prélèvements d'humidité à différentes dates (profils hydriques) ont montré une certaine variabilité de la réserve hydrique d'un secteur à un autre (avant ou après une irrigation), mettant en jeu les propriétés physiques (granulométrie-structure - compactage - coefficient d'infiltration).

Situés généralement dans l'intervalle de la réserve utile, les profils hydriques dénotent parfois des excès d'eau à partir d'une profondeur moyenne 50-60 cm et jusqu'en bas, ou bien des déficits dans les horizons subsuperficiels et superficiels.

La réserve utile des profils types varie de 103 mm (Kettana) à 260 mm (Metouia). Pour les oasis de Gabès Nord, elle est de l'ordre de 180 mm, Gabès Ouest (El Hamma) 205 mm et Gabès Sud 138 mm.

- L'infiltration :

Les tests d'infiltration selon la méthode Porchet - profils types - montrent un coefficient K qui se situe entre 2,5 cm/h (sol peu perméable) à Metouia et 11,5 cm/h (sol perméable) à Kettana et El Hamma.

Il faut noter que la méthode du double cylindre de Muntz appliquée pour tous les profils des différentes oasis a donné des valeurs du coefficient $5\ 10^{-6}$ m/s < K < $5\ 10^{-5}$ m/s. Ce qui nous conduit à classer les sols comme perméables.

Les valeurs d'infiltration sont en relation étroite avec les caractéristiques physiques des profils : granulométrie - compactage (représenté par la densité apparente) et aussi par la dynamique géochimique des solutions du sol (chlorures, gypses, pH). Les tableaux suivants nous montrent un aspect de cette interaction.

- Propriétés physico-chimiques des profils représentatifs :

Les sols sont faiblement riches en matière organique ne dépassant guère 1,5 % dans les premiers horizons :

* une texture à dominante sablo-limoneuse (importance des sables fins, sables grossiers et limons fins) le long du profil une relative proportion de fraction fine (argiles + limons fins) est constatée vers le bas : Metouia - Oudref - Zerkine - Mareth,

* une structure polyédrique subanguleuse à polyédrique devenant strictement massive en profondeur,

* un pH globalement basique de 7,7 à 9,0.

* des teneurs en carbonates (calcaire total) peu importantes dans le groupe des oasis de Gabès Nord et Ouest < 10 % et pouvant atteindre 23 % à Mareth et Gabès Sud,

* des teneurs en sulfates (gypse) plus importantes dans le groupe de Gabès Nord et Ouest qu'au Sud (calcaire plus dominant).

Les valeurs extrêmes sont constatées à Metouia 65 % à 100-120 cm encroûtement de nappe, à El Hamma nous avons en profondeur entre 45 et 55 % (encroûtement).

Dans le restant des oasis de Gabès Nord des valeurs comme 30-25-15 % (de haut en bas) sont assez fréquentes : c'est une accumulation sulfatée à moyenne profondeur.

* Des caractères d'hydromorphie représentés par des taches ocre-jaune (pseudo-gley) ou gris vert (gley) en profondeur et présence de la nappe phréatique.

Malgré la saison fraîche, le niveau du plan d'eau de la nappe est au delà de 1 m à 1,20 m.

c) Pédologie :

Les sols des oasis évoluent sur un matériau alluvionnaire. Ces alluvions occupent des terrasses d'oued (exutoire) ou des dépressions endoreiques (sebkha ou chott) ce qui provoque une contamination par les sels dans presque la totalité des sols.

Les données essentielles de caractérisation des sols sont :

- La texture :

Les prélèvements effectués au niveau de certains sites ont montré une nette prédominance de la fraction sables fins, suivie par les limons et enfin l'argile. Quelques variations verticales ont été observées mais de faible importance.

Cette texture finement sableuse a des repercussions directes sur le pouvoir filtrant de ces sols. Ceci est confirmé par les essais d'infiltration.

- La Salure :

Les échantillons prélevés dans les secteurs des périmètres agricoles n'ont pas montré des teneurs importantes de sels, exception faite sur ceux de l'oasis d'El Hamma avec des valeurs de 16 à 15 mmhos par cm, et augmentant parfois en profondeur.

Ce sont des sels dont la qualité varie d'une oasis à une autre. Ce sont soit les sulfates de calcium et de magnesium qui sont dominants soit les chlorures de sodium et de potassium.

- Les eaux de drainage :

La salure des eaux de drainage exprimée en résidus secs varie de 7,5 g/l (Zerkine 1) à 13,5 g/l (Zrig). Ce sont des eaux sulfato-sodiques.

- Le gypse et le calcaire :

Contrairement aux oasis de Ghannouche, l'accumulation gypseuse de nappe (Terch) n'apparait pas nettement et les teneurs sur les échantillons prélevés restent faibles sauf pour El Hamma où elles peuvent atteindre 54 % vers 90-100 cm et un début d'encroûtement. Les taux de carbonates sont aussi faibles et ne dépassant jamais 11 % (en calcaire total).

- La nappe :

Généralement, elle influence une partie de ces sols (sols hydromorphes à gley) sa profondeur moyenne varie d'une oasis à une autre (0,80 m à 2 m). La salure des eaux exprimée en résidus secs est de 6,3 g/l à Zerkine, 7,6 g/l à Metouia, 13,2 g/l à Oudref et à El Hamma 10,0 g/l.

La composition chimique de ces eaux est essentiellement sulfato-sodique.

- L'eau d'irrigation :

Provenant essentiellement de la nappe de la Jeffara, du Complexe Terminal et du Continental Intercallaire à partir de forages profonds (entre 50 et 1000 mètres) El Khebaiêt-Ben Ghilouf, cette eau est généralement sulfato-chlorurée sodique avec des résidus secs variables de 2,8 à 4 g/l.

Récapitulation :

Les profils représentatifs des sols d'oasis montrent globalement des caractéristiques analogues et denotent une parenté d'origine et des processus d'évolution comparables :

1 - Les sols occupent des sites de terrasses d'oueds, de dépressions périphériques par conséquent ils sont bien marqués par l'apport fluviale ancien associé à l'apport éolien actuel.

2 - Ces sols sont exploités par l'homme en irrigué depuis fort longtemps selon le système oasien bien connu du Sud tunisien.

3 - Suite à cette occupation ancienne, une accumulation de sels (chlorures et sulfates) représentée par une croûte saline superficielle ou encroûtement et croûte gypseuse de profondeur s'est manifestée avec en même temps une élevation du niveau de la nappe phréatique : phénomène d'hydromorphie.

4 - Ces sols étaient à l'origine peu évolués d'apport mixte (fluviatile et éolien) et deviennent en fonction du temps des sols hydromorphes à gley et pseudogley pour finir en sols halmorphes en cours de dégradation.

CONCLUSION :

Les oasis de Gabès ont des sols aptes à l'irrigtion et ce depuis des millénaires. Caractérisés par une texture sablo-limoneuse, ces sols sont marqués par l'accumulation des sels (chlorures ou sulfates) à différents niveaux de profondeur. Leur perméabilité est bonne, et permet dans une certaine mesure l'évacuation des excès de sels.

Si la salinité des sols d'oasis reste, tout le long du suivi (1987 à 1992), globalement peu importante, il faut signaler tout de même le cas d'El Hamma qui reste élevé. Aussi certains secteurs de Zerkine 1 (Gabès Sud) et surtout Metouia (Gabès Nord) revèlent un certain accroissement de la salure.

En effet, au début des années 80, les oasis étaient faiblement valorisées, à cause d'une multitude de contraintes. Cette situation a été remplacé en 1990 d'une part après les crues de

Janvier, d'autre part lorsque le projet de sauvegarde des oasis de Gabès a commencé à donner ses fruits par les nouvelles structures et la meilleure gestion et organisation de l'espace agricole et de l'eau. Une nette diminution de la salure des sols et une remarquable amélioration de l'état générale des oasis sont les conséquences de cette nouvelle situation malgrès les nombreuses contraintes de nature sociale et autre qui menacent ce patrimoine très valeureux (absentéisme et abondon dans certaines oasis, morcellement très prononcé, construction anarchiques....).

L'amélioration de l'état actuel reste possible par une gestion plus adéquate des ressources hydriques de plus en plus rares, qui adapte les techniques économisatrices de l'eau avec les particularités de l'agriculture oasienne.

VALEURS EXTREMES ET MOYENNE DE LA SALURE DANS LES OASIS

MINIMAS

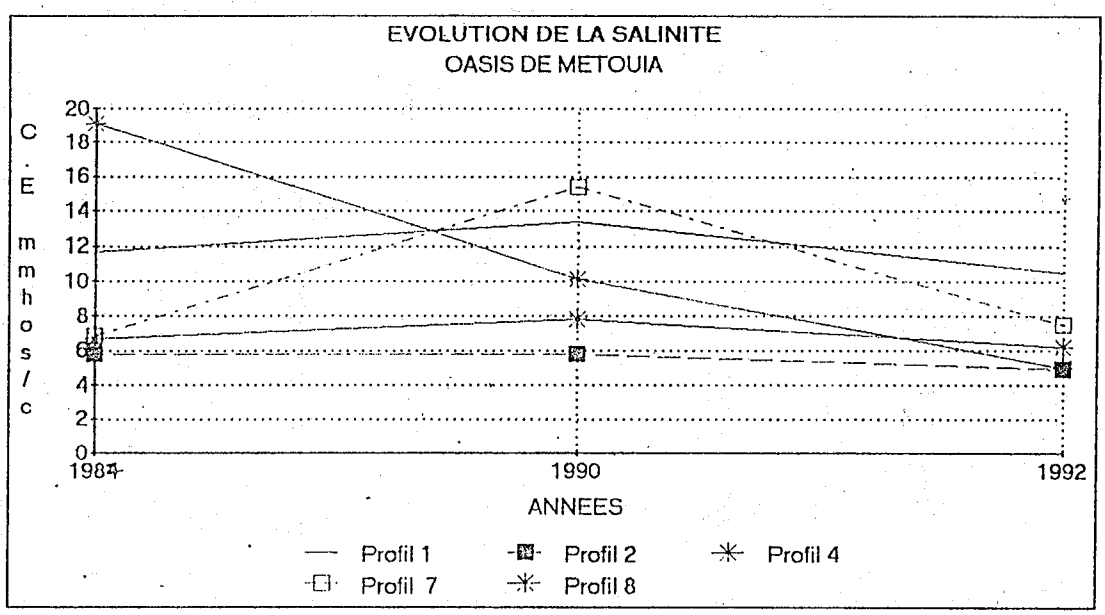
	1987	1990	1992
Kettana	2,86	1,2	0,85
Zerkine 1	3,3	2,5	1,34
Zerkine 2	4,2	3,5	2
Mareth	5,06	2	2,11
Metouia	4,69	5,1	3,15
Ouedref	4,58	3,9	2,88
El Hamma	7,7	4,5	3,63
Bouchemma	2,6	3	3,43

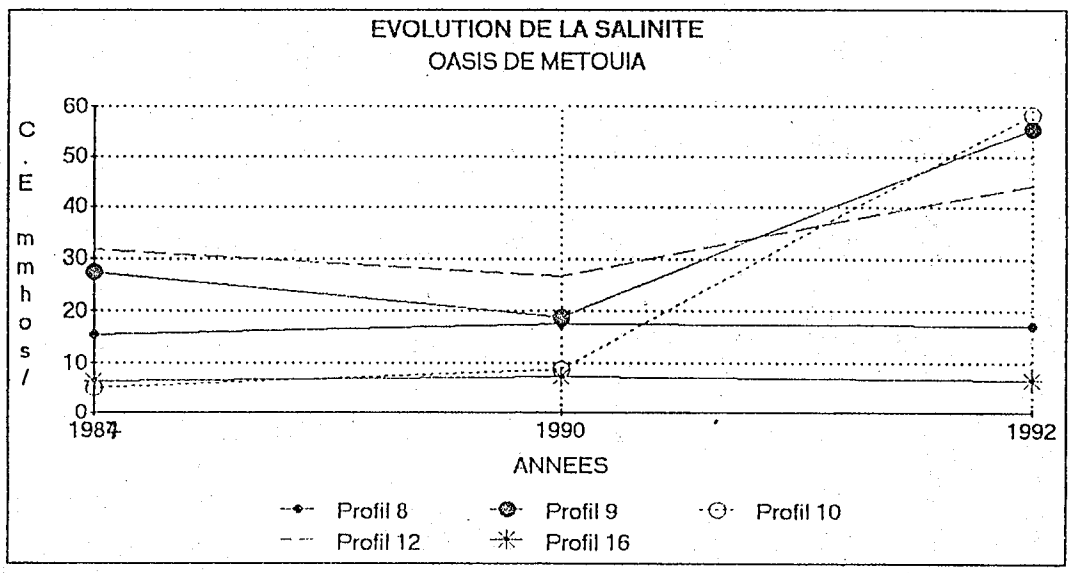
MAXIMAS

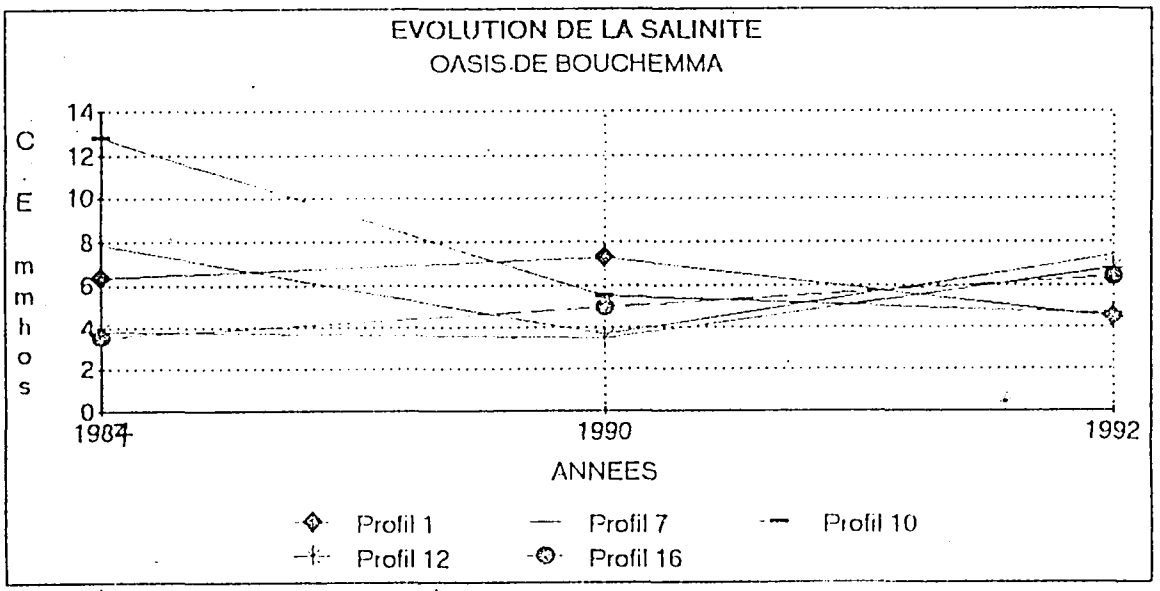
	1987	1990	1992
Kettana	5,42	7,5	5,74
Zerkine 1	17,5	7,5	19,47
Zerkine 2	7,19	20,8	7,67
Mareth	6,93	7,9	12,38
Metouia	10	29,3	80,8
Ouedref	70,92	37,5	45,19
El Hamma	67,75	71	82,7
Bouchemma	24,12	7,7	14,72

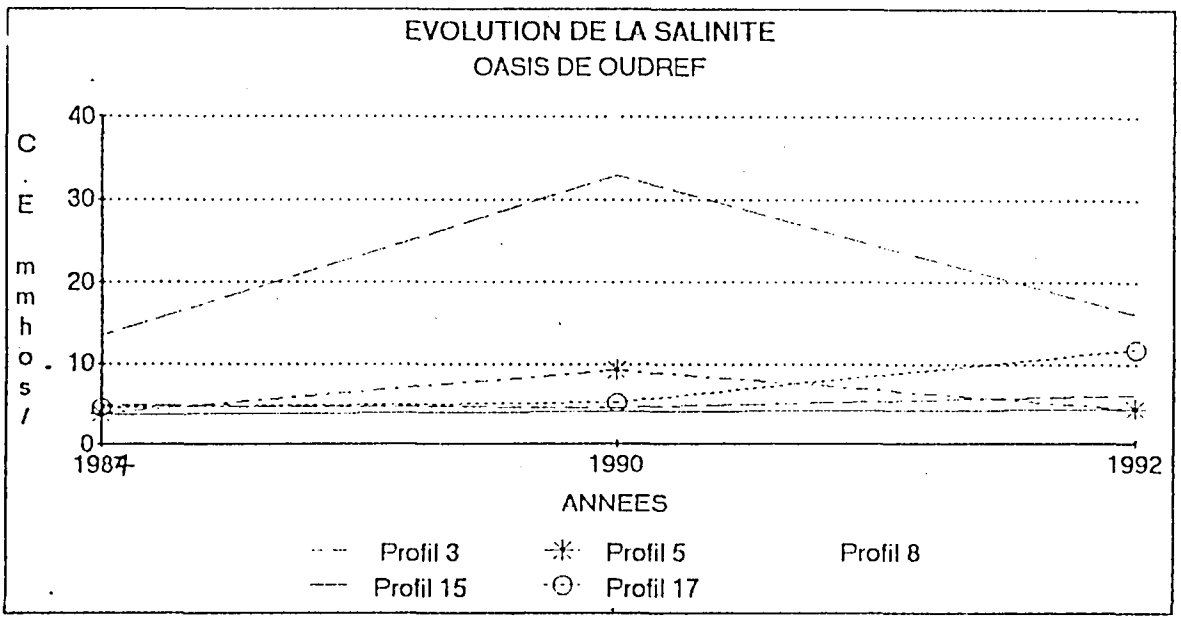
MOYENNE

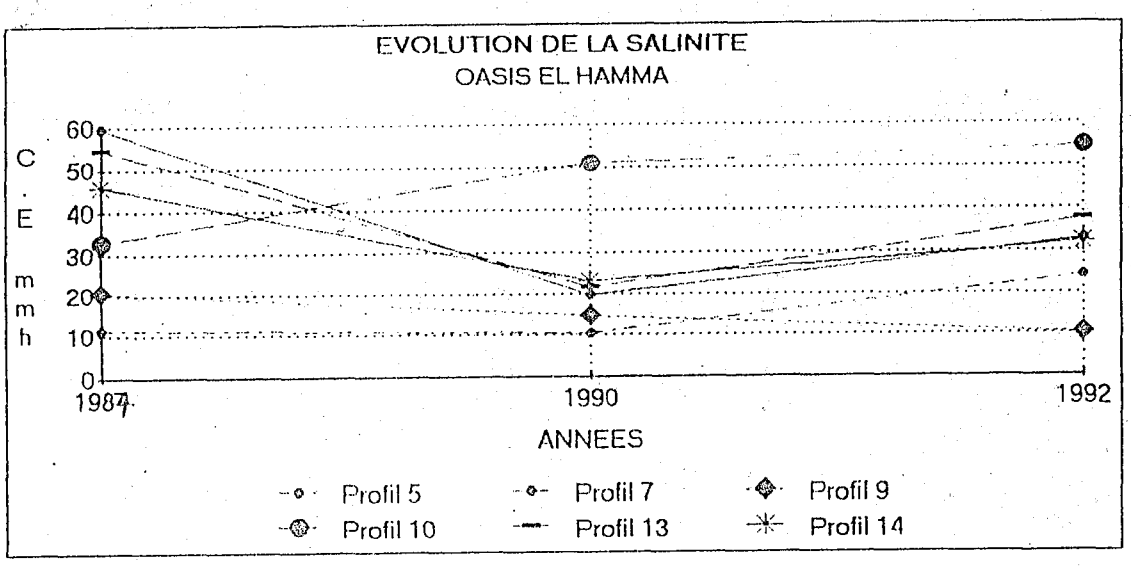
	1987	1990	1992
Kettana	3,9	3,61	2,24
Zerkine 1	5,4	4,14	7,36
Zerkine 2	5,41	7,25	4,22
Mareth	5,61	5,11	4,76
Metouia	7,58	13,58	17,12
Ouedref	21,27	11,23	8,12
El Hamma	24,6	23,69	26,13
Bouchemma	7,77	5,09	8,66

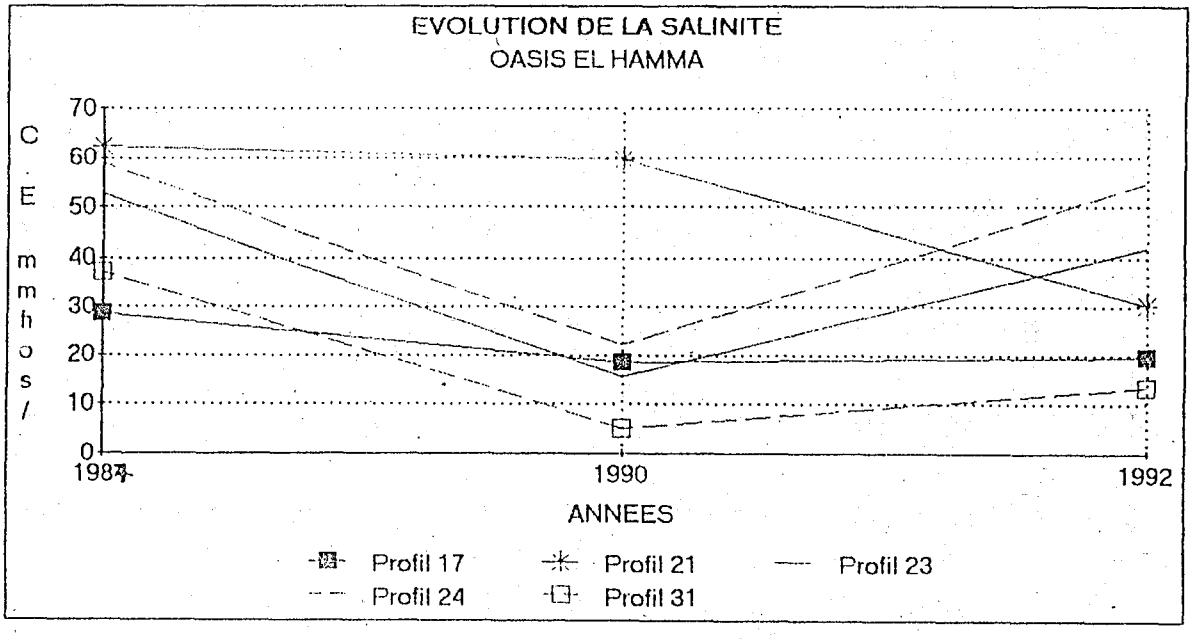

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE METOUIA
C.E mmhos/c
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1984
1990
1992
ANNEES
Profil 1
Profil 2
Profil 4
Profil 7
Profil 8

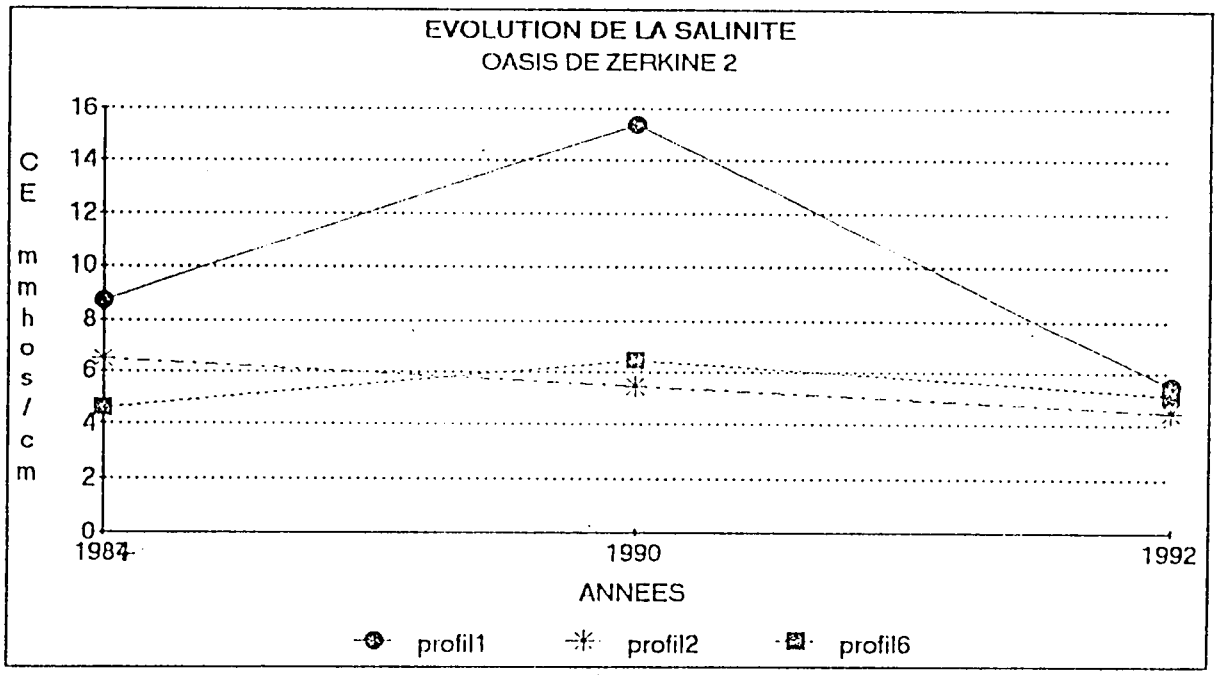

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE METOUIA
C.E mmhos/
60
50
40
30
20
10
0
1984
1990
1992
ANNEES
Profil 8
Profil 9
Profil 10
Profil 12
Profil 16

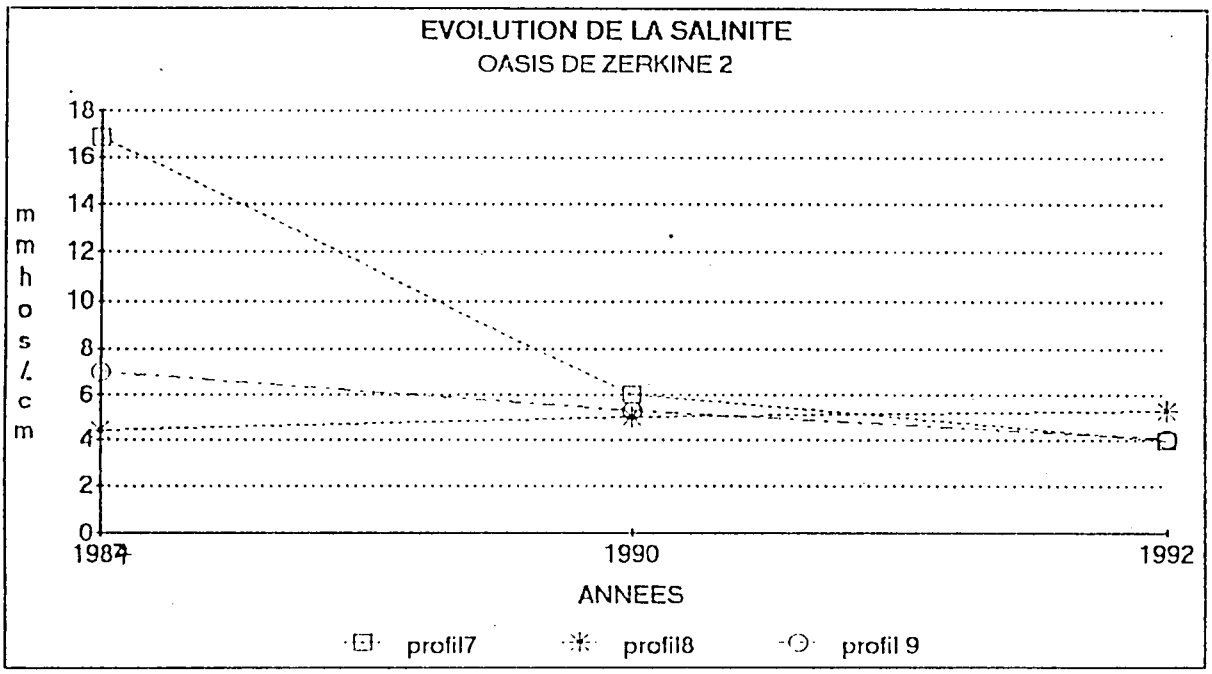

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE BOUCHEMMA
C.E mmhos
14
12
10
8
6
4
2
0
1984
1990
1992
ANNEES
Profil 1
Profil 7
Profil 10
Profil 12
Profil 16

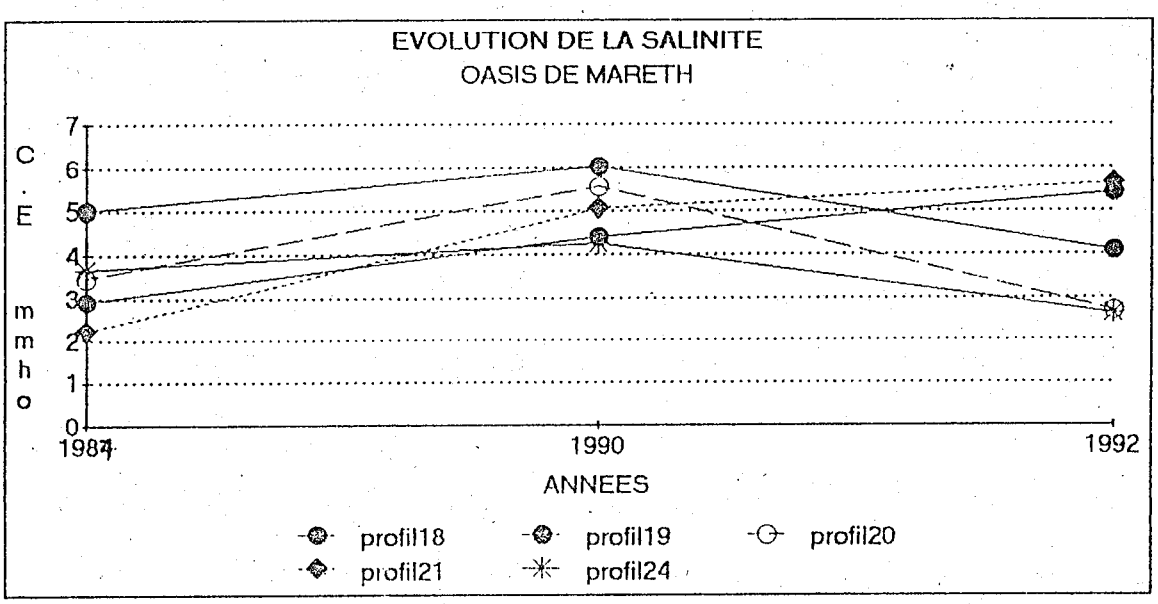

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE OUDREF
C.E mmhos/
40
30
20
10
0
1984
1990
1992
ANNEES
Profil 3
Profil 5
Profil 8
Profil 15
Profil 17

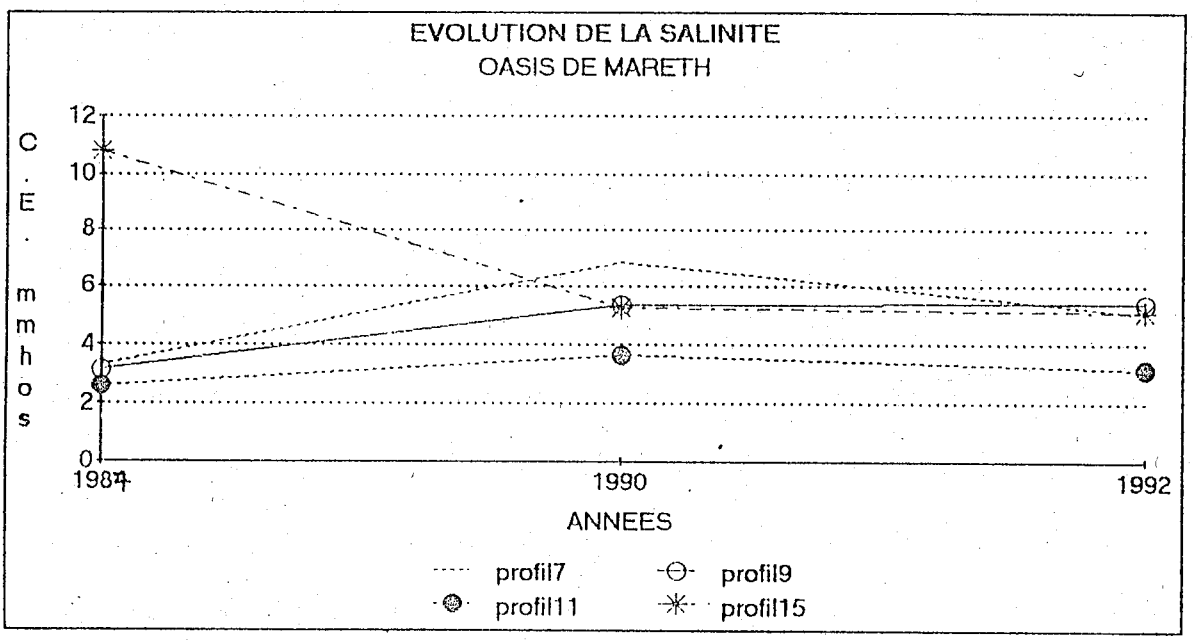

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS EL HAMMA
C.E mmh
60
50
40
30
20
10
0
1987
1990
1992
ANNEES
Profil 5
Profil 7
Profil 9
Profil 10
Profil 13
Profil 14

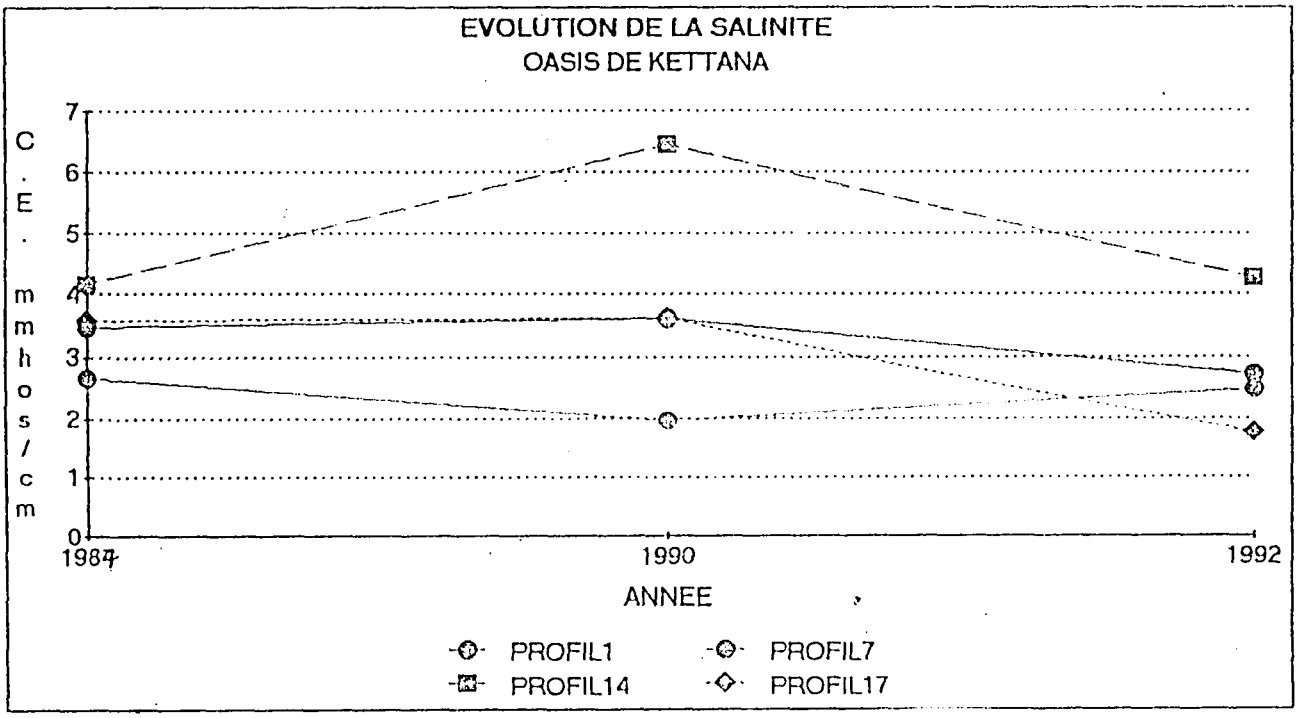

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS EL HAMMA
C.E mmhos/
70
60
50
40
30
20
10
0
1987
1990
1992
ANNEES
Profil 17
Profil 21
Profil 23
Profil 24
Profil 31

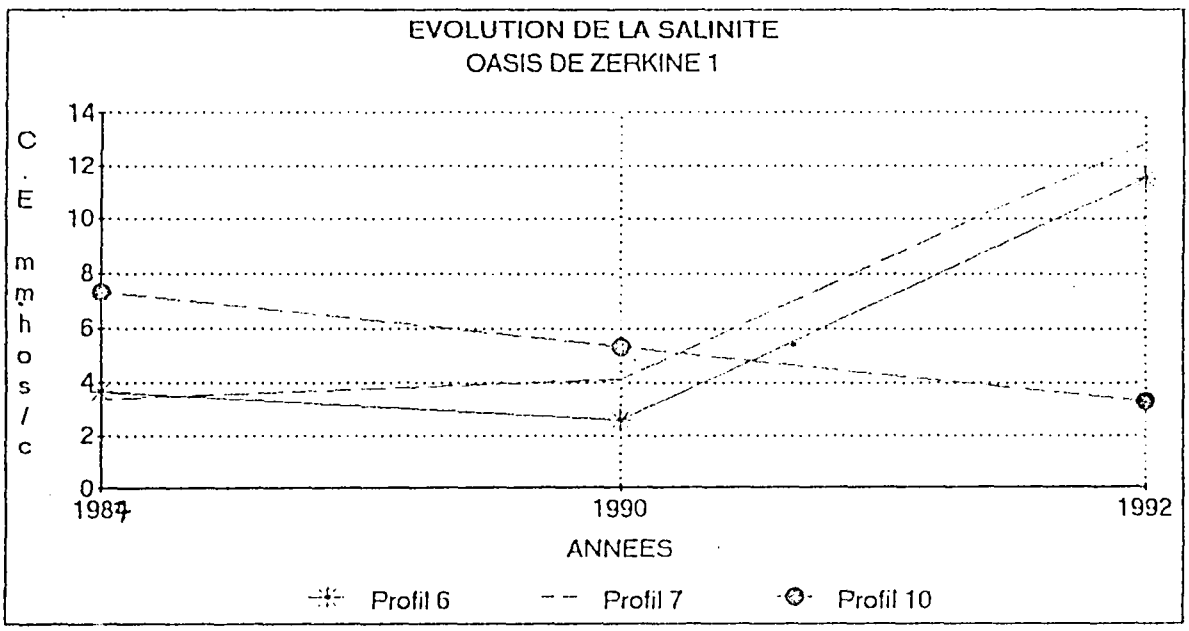

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE ZERKINE 2
CE mmhos/cm
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1987
1990
1992
ANNEES
profil1
profil2
profil6

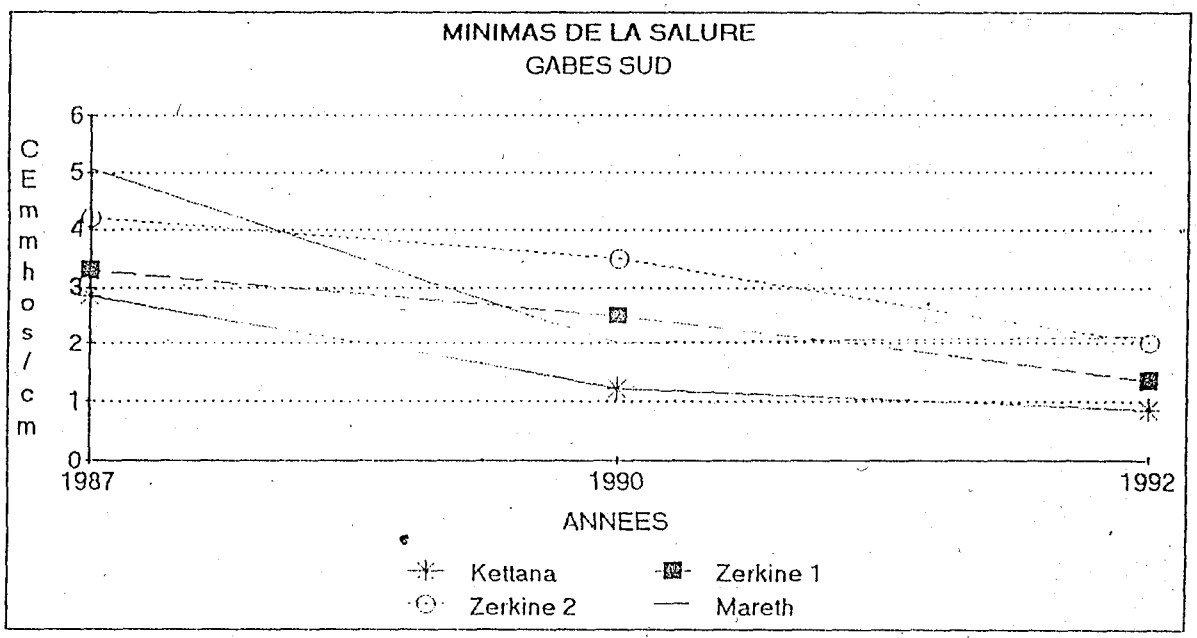

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE ZERKINE 2
mmhos/cm
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1987
1990
1992
ANNEES
profil7
profil8
profil 9

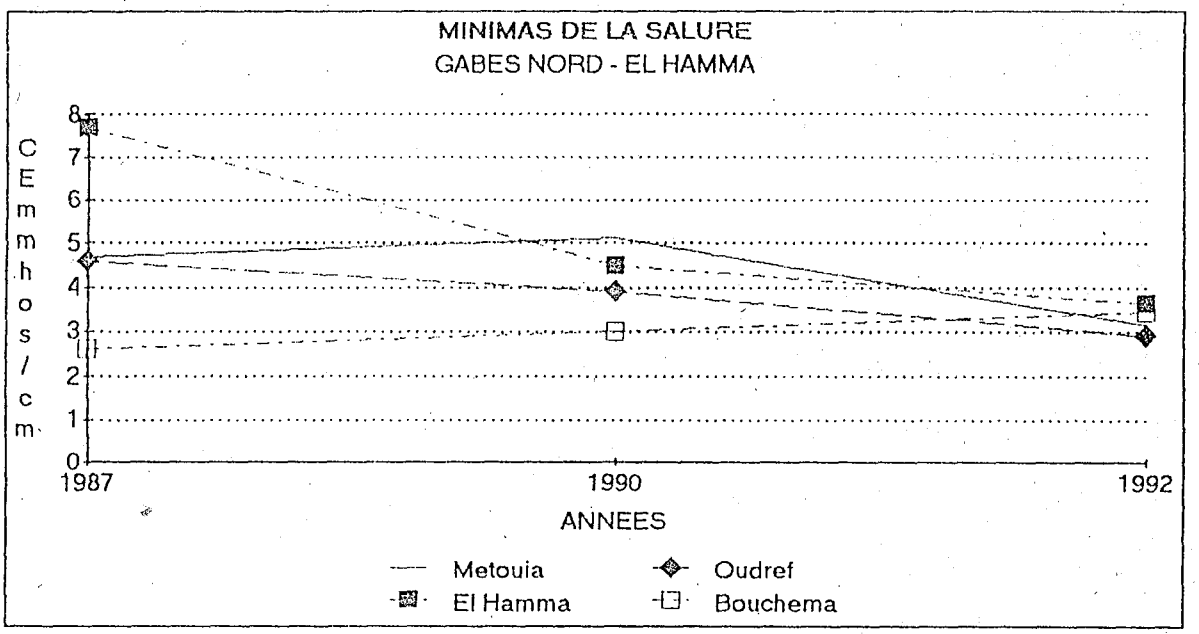

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE MARETH
C.E. mmho
7
6
5
4
3
2
1
0
1984
1990
1992
ANNEES
profil18
profil19
profil20
profil21
profil24

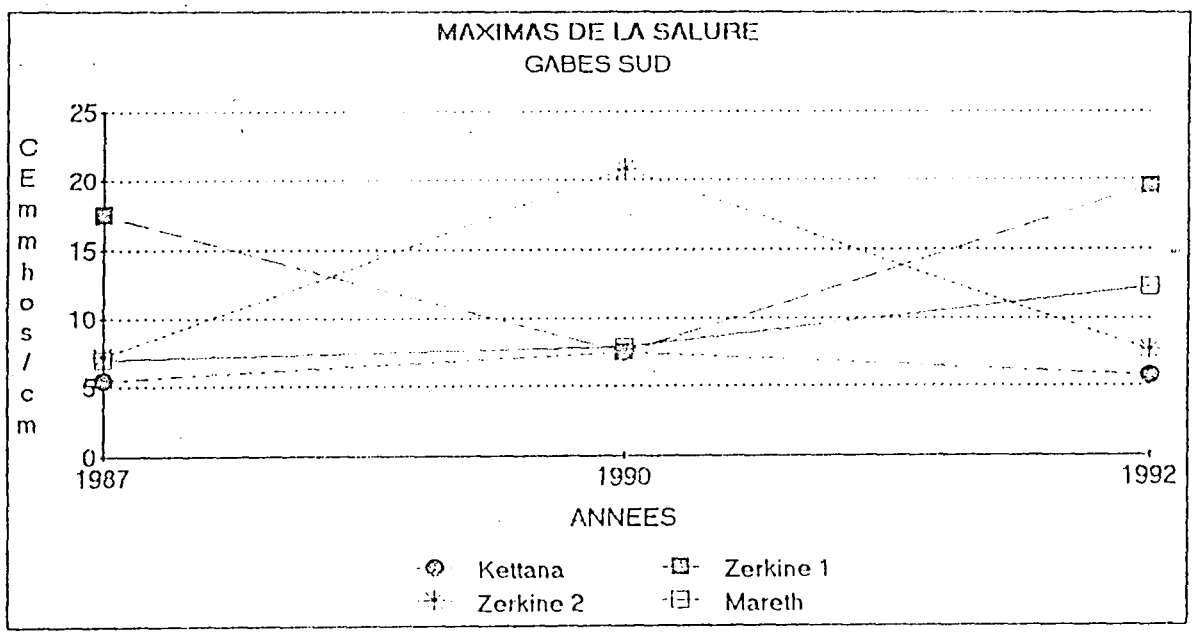

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE MARETH
C.E. mmhos
12
10
8
6
4
2
0
1984
1990
1992
ANNEES
profil7
profil9
profil11
profil15

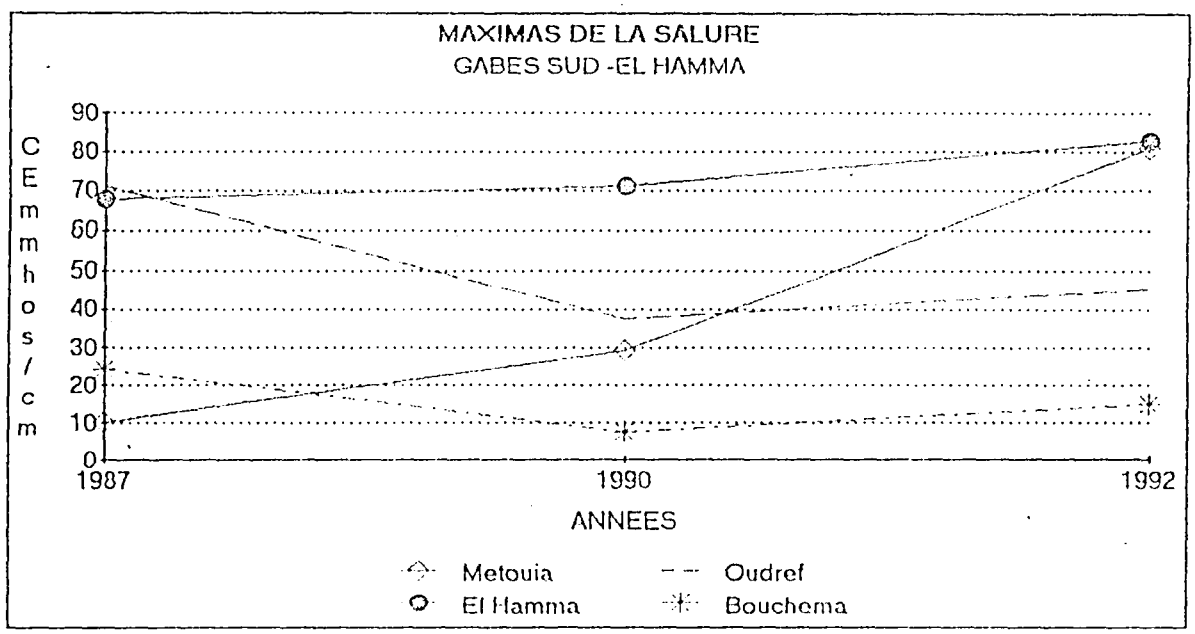

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE KETTANA
C.E. mmhos/cm
0
1
2
3
4
5
6
7
1984
1990
1992
ANNEE
PROFIL1
PROFIL7
PROFIL14
PROFIL17

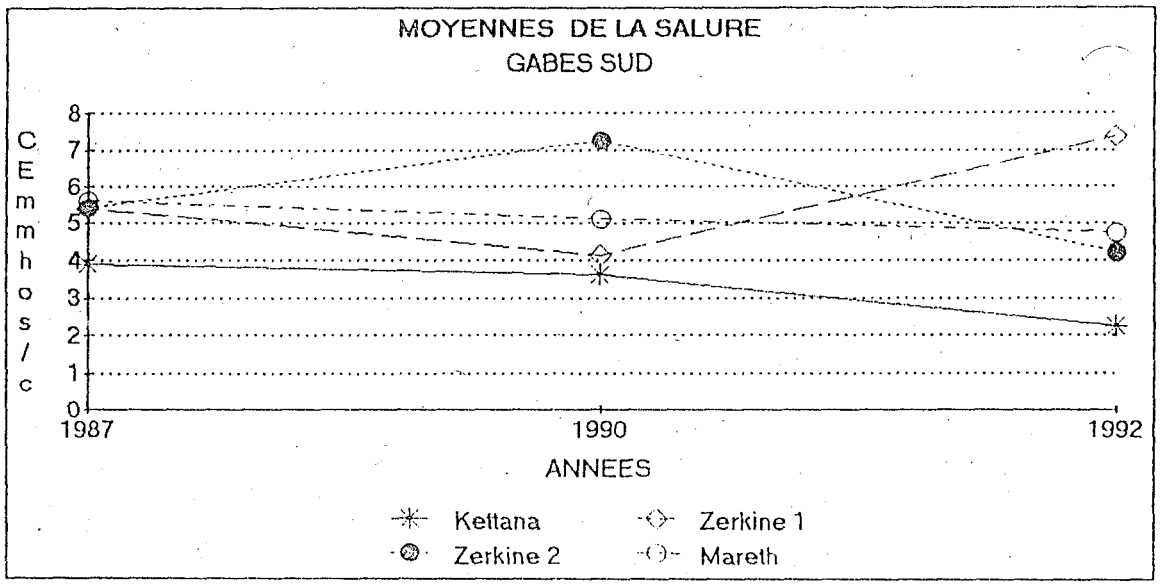

EVOLUTION DE LA SALINITE
OASIS DE ZERKINE 1
C.E mmhos/c
0
2
4
6
8
10
12
14
1984
1990
1992
ANNEES
Profil 6
Profil 7
Profil 10

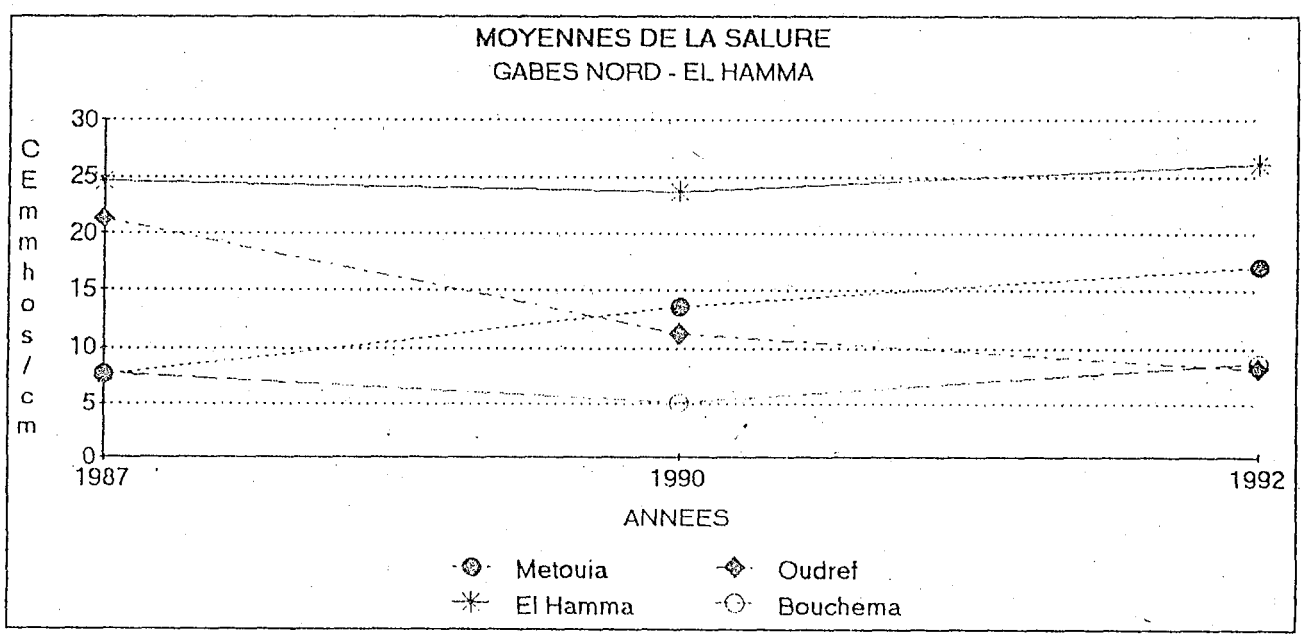

MINIMAS DE LA SALURE
GABES SUD
C E m mhos / c m
0
1
2
3
4
5
6
1987
1990
1992
ANNEES
Kettana
Zerkine 1
Zerkine 2
Mareth


MINIMAS DE LA SALURE
GABES NORD - EL HAMMA
C E m mhos / c m
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1987
1990
1992
ANNEES
Metouia
Oudref
El Hamma
Bouchema


MAXIMAS DE LA SALURE
GABES SUD
C E m m h o s / c m
25
20
15
10
5
0
1987
1990
1992
ANNEES
Kettana
Zerkine 1
Zerkine 2
Mareth


MAXIMAS DE LA SALURE
GABES SUD -EL HAMMA
C E m m h o s / c m
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1987
1990
1992
ANNEES
Metouia
Oudref
El Hamma
Bouchema


MOYENNES DE LA SALURE
GABES SUD
C E mmhos / c
8
7
6
5
4
3
2
1
0
1987
1990
1992
ANNEES
Kettana
Zerkine 1
Zerkine 2
Mareth


MOYENNES DE LA SALURE
GABES NORD - EL HAMMA
C E mmhos / cm
30
25
20
15
10
5
0
1987
1990
1992
ANNEES
Metouia
Oudref
El Hamma
Bouchema

CNDA 9162

LES PREMIERES JOURNEES SCIENTIFIQUES DU C.R.G.R

POMPAGE SIMULTANE A PARTIR DES COUCHES D'EAU SOUTERRAINES

SOUISSI A.

*** Ecole Supérieure de l'Equipement rural de Medjez El Bab**

RESUME :

Des expériences menées au laboratoire utilisant un modèle type HELE SHAW, un modèle de sable et un modèle numérique ont montré que l'eau douce pourra être pompée à partir d'une couche surmontant une couche d'eau salée moyennant un pompage simultané. L'expérience a montré aussi qu'il est possible de pomper au moins dix fois la quantité d'eau pompée par puits simple moyennant un pompage simultané. De combien ? Cela dépendra de la qualité d'eau demandée.

L'installation des puits dépendra du site : épaisseur de la couche aquifère d'eau douce, profondeur de l'interface, épaisseur de la zone de transition et d'autres caractéristiques de l'aquifère.

Le système installé a été conçu dans le but d'obtenir une eau potable, mais il est possible d'étendre l'idée à un pompage simultané multiple dans les différentes couches polluées.

INTRODUCTION

Les zones côtières dans les régions arides et semi-arides ont une couche d'eau douce mince surmontant une couche d'eau salée. Cette couche draine doucement vers la mer, et en s'approchant des côtes, elle devient saumâtre à cause du mélange causé par les marées. Le pompage d'eau douce est impossible à cause du déplacement de l'interface. Un rabattement dans la couche d'eau douce entraînera une remontée de l'interface de 40 fois le rabattement. La définition d'une couche aquifère mince devient, alors, une couche dans laquelle le pompage d'eau douce est impossible.

La technique de pompage simultané basée sur des puits images, l'un placé dans la couche d'eau douce, l'autre dans la couche d'eau salée a été étudiée. Les différentes études ont montré qu'il est possible de pomper dix fois la quantité d'eau douce pompée par puits simple, moyennant un pompage simultané. Des dépenses supplémentaires seront nécessaires pour aboutir à ces fins, mais le bénéfice c'est l'obtention de l'eau douce. En plus, les eaux salées ne seront pas rejetées : elles peuvent être utilisées pour l'extraction des sels ou en acquaculture.

TRAVAUX DE RECHERCHES ET RESULTATS

Des recherches ont été menées par ABED (1982). Il a utilisé un modèle type HELE SHAW 1,2 x 2,4 mètres avec une épaisseur de 2 millimètres, l'eau douce (eau de robinet) et l'eau artificielle colorée (eau salée) se trouvant à la température du laboratoire. Il a constaté que l'interface se déplace vers le haut si on pompe seulement de l'eau douce, elle se déplace vers le bas si on pompe seulement de l'eau salée et elle restera horizontale si les deux puits sont opérés simultanément moyennant un rapport correct des débits. Le débit d'eau salée est à peu près 10% plus important que le débit d'eau douce.

D'autres recherches ont été conduites par FUKUMORI (1982) qui a utilisé un modèle numérique. Ce modèle montre qu'il est possible de pomper 10 fois la quantité pompée par un pompage simple moyennant un pompage double.

La différence entre les deux modèles réside dans le fait que le modèle numérique a montré que le débit d'eau salée pompée pour garder l'interface horizontal est plus faible que le débit pompé dans la couche d'eau douce. Ces résultats sont probablement dûs, à la répartition de la vitesse entre les deux plaques du modèle. Ce résultat sera éclairci par le 3ème modèle.

Les travaux de recherche conduits par SOUISSI (1984) permettent d'éliminer l'ambiguïté apportée par les deux modèles. SOUISSI utilise un modèle de sable de 1,2 x 2,4 mètres avec une épaisseur de 50 mm rempli par des billes de verre de 0,58 mm. L'eau douce est l'eau de robinet, l'eau salée est une eau artificielle colorée. Les mêmes résultats ont été obtenus à savoir la remontée et la descente de l'interface et un volume d'eau douce pompée plus important. Cependant, la quantité d'eau salée pompée croit avec l'épaisseur de la zone de transition entre la couche d'eau douce et la couche d'eau salée. La quantité d'eau salée est de 20 % plus importante que la quantité d'eau douce. Il a été montré aussi que lorsque l'épaisseur de la zone de transition est importante, il n'est pas possible de pomper de l'eau douce. En pompant à partir des deux puits simultanément, il est possible de pomper de l'eau douce seulement à partir des puits qui se trouvent à une distance importante de l'interface et la quantité d'eau douce pompée est 10 fois plus importante. Un troisième puits peut être localisé dans la zone de transition et on peut pomper de l'eau d'une qualité moyenne qui peut être utilisée pour l'irrigation de certaines cultures résistantes à la salinité.

Les trois travaux de recherche ont montré qu'il est possible de pomper l'eau douce et l'eau salée simultanément à partir de deux couches séparées par une interface.

TRAVAUX REALISES

Plusieurs chercheurs ont étudié des sujets se rapprochant de ce thème. On cite par exemple :

FADER (1957) a étudié les problèmes de pénétration des eaux salées dans les eaux douces en Louisiane (USA) et il a suggéré la technique du pompage double moyennant deux puits voisins pour contrôler ces pénétrations. LONG (1965) a conduit une expérience sur terrain se basant sur la même idée. UNDERHILL et ATHERTON (1964) ont utilisé la technique de pompage double pour exploiter l'eau douce stagnante entourée par l'eau salée dans le désert de Zouara en Libye. WICKERSHAM (1977) a reproduit l'invention de JACOB qui a été licenciée en 1965 et il y a ajouté un tube d'injection à haute pression. BARDELLI (1960) a utilisé l'invention de JACOB et WICKERSHAM. Cette invention n'a pas été expérimentée sur terrain. IWASA et TAKENCHI (1969) ont étudié un pompage double asymétrique analytiquement et expérimentalement. Ils ont démontré qu'il est possible de pomper de l'eau douce et de l'eau salée séparément.

APPLICATIONS

Le système décrit ci-dessus peut être installé sur terrain. Théoriquement, le système est réalisable. Pratiquement, il a donné de bons résultats au laboratoire. Le milieu poreux réel est plus compliqué, donc un effort devra être fourni pour installer un système flexible permettant la maîtrise des débits.

Il est possible d'installer le système montré sur la figure 1 avec deux pompes installées dans un seul puits et une enveloppe pour isoler les différentes parties du puits.

Le rabattement et la position de l'interface doivent être mesurés à partir d'un puits d'observation situé près du système. Si la qualité des eaux est différente de ce qu'on attendait, le réajustement des débits ou la position des pompes et des enveloppes doivent être revus.

Si la couche d'eau douce est très mince et le rabattement des puits asymétriques est large, l'installation d'un système à deux dimensions comme le montre la figure 2 peut être utilisée. Si la nappe phréatique est superficielle, une tranchée sera plus facile à construire. Si la nappe phréatique n'est pas aussi superficielle, une paire de tuyaux (l'un au dessus de l'autre) entre des tranchées courtes peut être une solution meilleure. Pour des nappes avec couche d'eau douce mince plus profonde, l'adaptation du système RANNEY, comme le montre la figure 3 est possible.

D'habitude, la première question ou objection à la conception de la technique de pompage double est : "Qu'est ce qu'on pourra faire avec les eaux salées pompées ?" l'eau salée coûte de l'argent et elle peut être utilisée pour l'entretien et le fonctionnement de ce système qui permet d'obtenir de l'eau douce.

En plus, les eaux salées pompées ne doivent pas être rejetées dans des endroits quelconques; elles risquent d'affecter les plantes et de contaminer l'aquifère. Si la mer est proche, une solution évidente consiste à rejeter ces eaux dans la mer. Si la mer est loin, on doit disposer d'un endroit qui facilitera le drainage de ces eaux vers la mer. Il est aussi possible de prévoir l'utilisation de ces eaux salées pour extraire des sels ou pour l'aquaculture. Si l'eau qui constitue la zone de transition est pompée, on peut l'utiliser pour irriguer certaines cultures résistantes à la salinité.

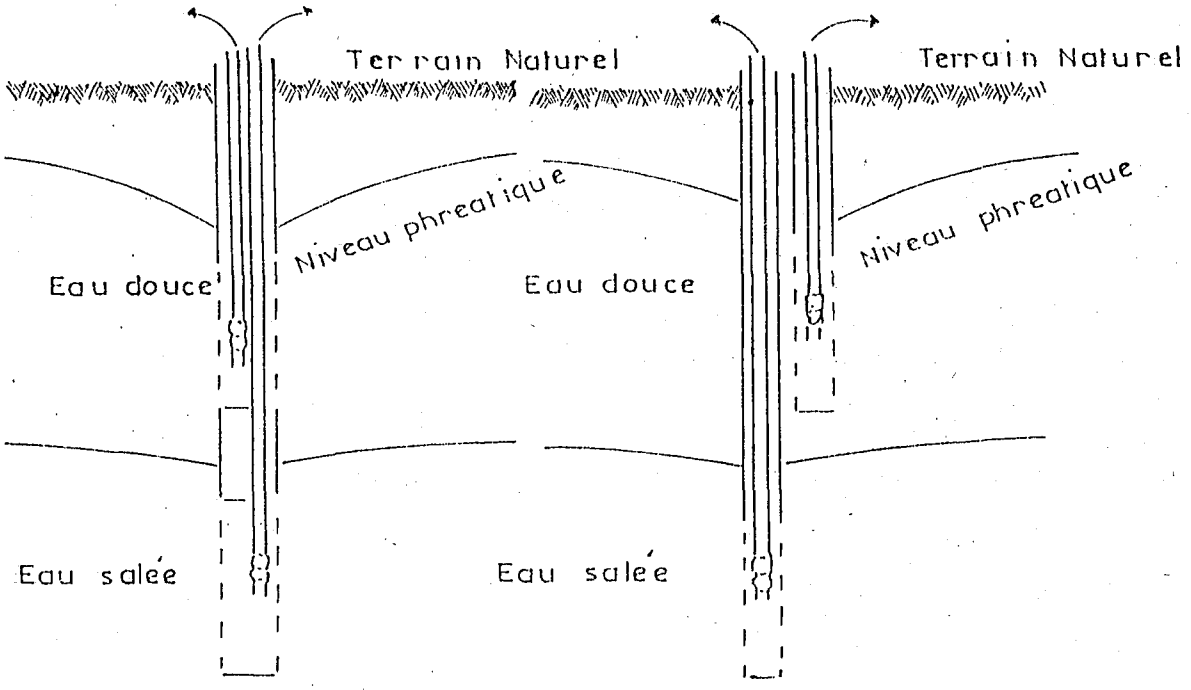
RESUME ET CONCLUSION

Théoriquement et expérimentalement, il a été démontré qu'il est possible de pomper plus d'eau douce en utilisant un pompage simultané qu'en utilisant un pompage simple (10 fois plus).

Il existe des régions dans le monde, particulièrement dans les zones côtières arides et semi-arides, où l'eau douce se trouve en quantité limitée et elle est drainée vers la mer. Dans ces zones, il peut exister une couche à épaisseur limitée et le problème sera comment l'exploiter. Les puits utilisés habituellement ne sont pas efficaces parce que l'interface se déplace 40 fois le rabattement. Le résultat est que l'eau pompée est salée et qu'elle est utilisée comme eau potable puisqu'il n'existe pas d'autres sources.

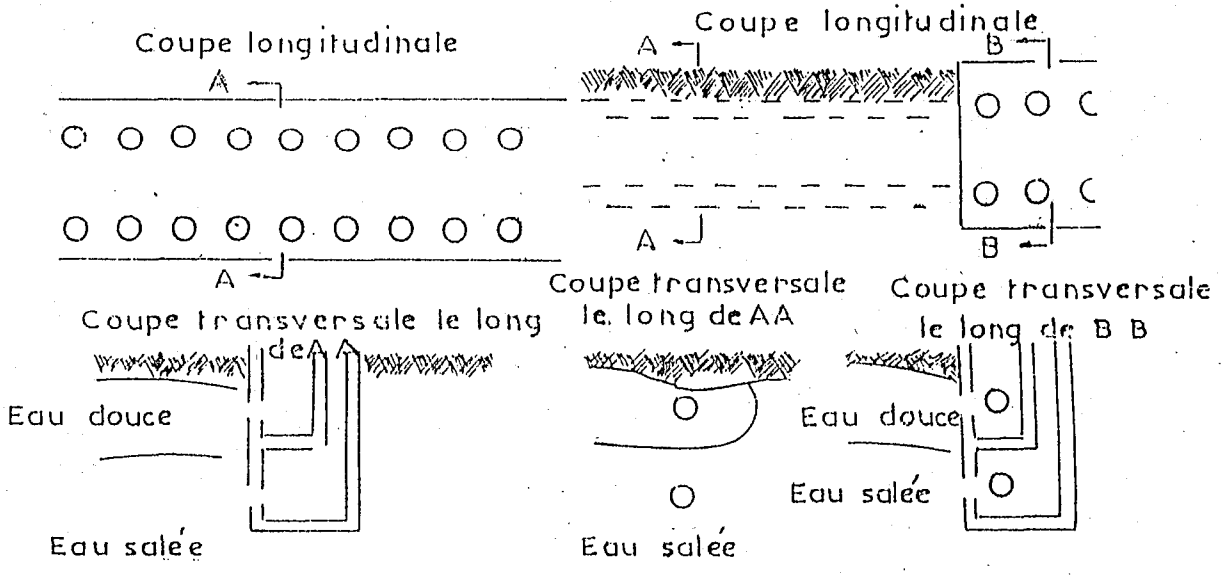
La définition opérationnelle d'une couche mince est une couche d'eau douce surmontant une couche d'eau salée et qui est tellement réduite qu'on ne peut pas pomper la quantité d'eau désirée. On peut pomper plus d'eau douce en utilisant deux pompes, mais le coût augmente.

La technique des puits images présentée ici promet une meilleure utilisation de la quantité d'eau existante dans les zones côtières à climat aride. Il existera sans aucune doute des problèmes lors de l'installation du premier système des puits images, mais il est possible de surmonter ces problèmes. Dans le cas contraire, il faut retourner aux expériences dans les laboratoires pour plus de recherches.



(a) Puits unique (b) Demi puits

Fig 1 Pompage double : puits vertical



(a) Tranchée (b) Tranchée et puits horizontal

Fig 2 Pompage double ; puits horizontal

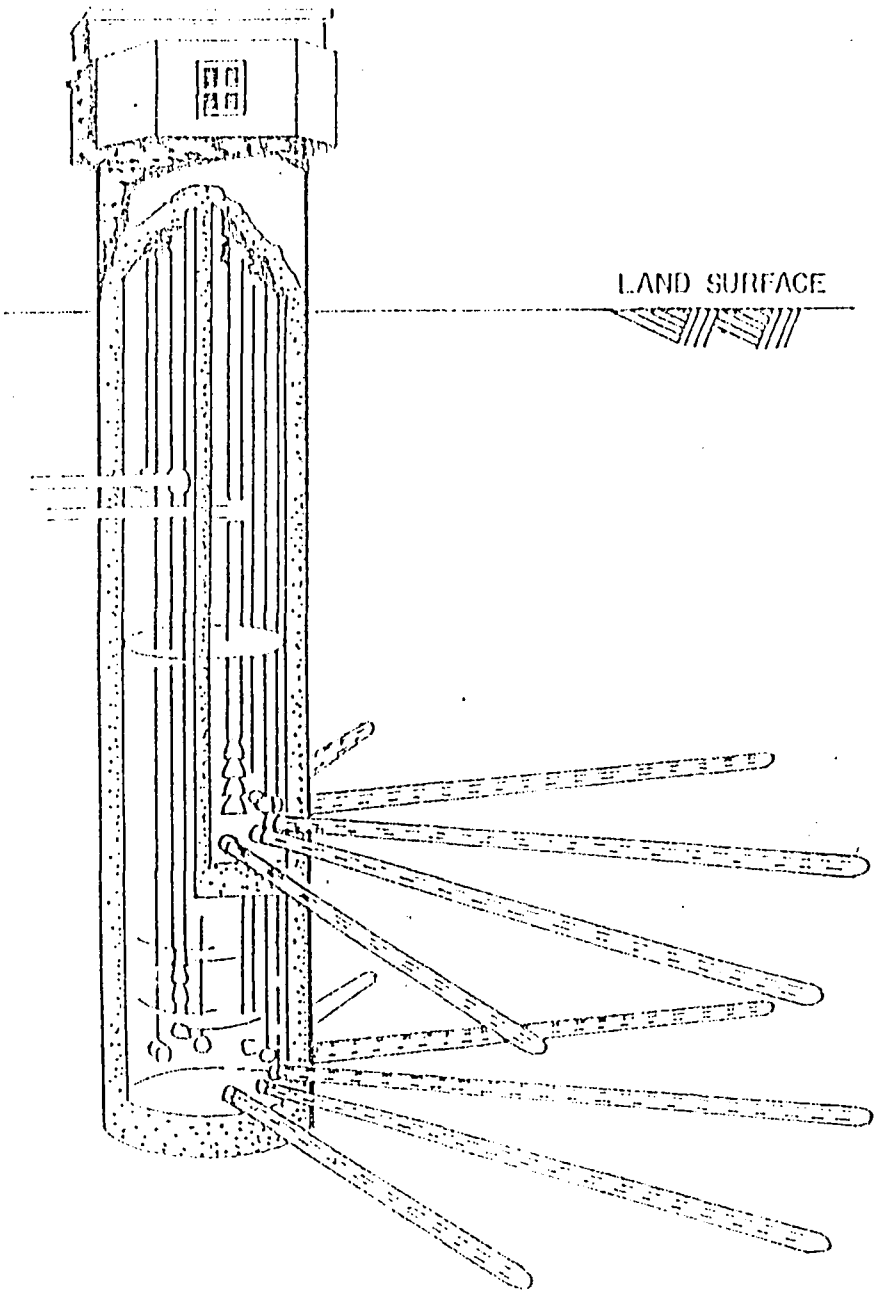


Figure : 3 COLLECTEUR DE RANNEY MODIFIE

REFERENCES

Abed, S.A.A 1982. Wells imaged about an interface : Hele -Shaw model. M.S thesis, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Bardelli, U. 1960. New system of pumping underground fresh water afloat upon sea water in porous formation. International Association of Scientific Hydrology, V.2, pp. 442-541.

Fader, S.W. 1957. An analysis of contour maps of 1955 water levels, with a discussion of salt-water problems in southwestern Louisiana. Department of Conservation, Louisiana Geological Survey and Louisiana Department of Public Works, Water Resources Pamphlet No. 4, pp. 16-21.

Fukumori, E. E. M, 1982. Simultaneous withdrawal of saline/fresh waters in a stratified aquifer. Proceedings ASCE-WPRMD Conference on Computr Applications in Water Resources. Buffalo, New York.

Laursen EM., 1985. A technique for the capture of fresh water washing to the sea. Proceedings of Conférences on drought, water management and food production. Agadir, Morroco, Nov. 21-24,

Laursen EM., S.A.A. Abed, E. Fukumori, A. Souissi and M.S. Petersan. 1985. Wells imaged about an interface, practical application of ground water models. National Water Association, Auguest 19-20.

Long R.A., 1965. Feasibility of a scavanger well system as a solution of the problem of vertical salt-water encroachment, Department of Conservation, LOUISIANA Geological Survey and Louisiana Department of Public Works, Water Ressources Pamphlet Np. 15, pp. 1-22.

Souissi A. 1984. Wells imaged about an interface : A sand box model, M.S. Thesis, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Underhill, H.W. and Atherton, M. J. 1964. A coastal ground water study in Libya and a discussion of a double pumping technique, Journal of Hydrology, Vol. 2, pp. 52-64.

Wickersham, G., 1977 Review of C.E Jacob's Doublet Well. Ground Water, vol. 15, No. 5, pp. 344-347.

CRDA 913

L'UTILISATION DES EAUX SAUMATRES EN IRRIGATION ET L'ECONOMIE DE L'EAU

Z. CHAABOUNI
Centre de Recherches du Génie Rural

RESUME :

Dans cette étude nous présentons les résultats de recherches relatifs à l'évapotranspiration réelle, au rendement et à l'efficience de l'eau consommée de l'olivier sous conditions arides tunisiennes, irrigué avec de l'eau saumâtre titrant 4 grammes de résidu sec par litre.

Différents systèmes d'irrigation sont utilisés : ce sont l'irrigation à la raie, l'irrigation "goutte à goutte" et l'irrigation souterraine par cruche en poterie qui sont comparées.

La méthode de mesures de l'évapotranspiration réelle des cultures arboricoles est la méthode neutronique.

Dans cette étude sur olivier irrigué aux eaux saumâtres titrant 4 g de résidu sec par litre dans les conditions arides de la station expérimentale de Ksar Gheriss, en Tunisie centrale nous avons montré dans la période 1976-1993 pour le système d'irrigation par submersion qu'on peut engendrer une économie d'eau de 35 % pour un traitement "dose d'irrigation" assurant une satisfaction des besoins en eau de l'olivier de 43 % de l'ETP par rapport à un traitement assurant une satisfaction des besoins en eau de 65 % de l'ETP. Il est à remarquer qu'on n'observe pas de différence de rendement entre les deux traitements.

Pour le système d'irrigation "goutte à goutte" la valeur de l'évapotranspiration réelle obtenue est 33 % de l'ETP. Ceci amène à une économie d'eau pour ce système d'irrigation de l'ordre de 30 % par rapport à l'irrigation par submersion.

Pour le système d'irrigation souterraine par cruches en poterie (méthode traditionnelle améliorée) indiquée pour une agriculture familiale nous avons obtenu une évapotranspiration réelle de 27 % de l'ETP ce qui engendre une économie d'eau de l'ordre de 10 % par rapport à l'irrigation "goutte à goutte" tout en enregistrant un rendement meilleur.

Pour ces systèmes d'irrigation le sol est maintenu durant la période 1976 - 1993 à un niveau de salure sans danger pour les cultures arboricoles étudiées.

Dans cette étude nous avons obtenu des valeurs de l'efficience de l'eau saumâtre consommée par l'olivier qui dénotent une bonne valorisation de l'eau samâtre et par la suite une lutte adéquate contre la désertification dans les zones arides tunisiennes.

I - INTRODUCTION

Le climat de la Tunisie est caractérisé par un déficit hydrique qui varie en fonction des régions. Ce déficit hydrique nécessite pour la plupart des régions le recours à l'irrigation.

Or les ressources en eau existantes sont limitées et de qualité médiocre et du fait que la propriété d'utilisation des eaux de bonne qualité va à la consommation humaine, comme eau potable, il ne reste souvent que les eaux de qualité médiocre pour l'irrigation. Devant cette situation nous devons mobiliser et valoriser toutes nos ressources en eau, souterraines, de surface, saumâtres et usées traitées.

Dans cette note nous présentons quelques aspects des ressources en eau et de leurs qualités en Tunisie, l'intéraction sol-eau saumâtre et les systèmes d'irrigation à l'eau saumâtre et l'économie de l'eau.

II - Quelques aspects des ressources en eau et de leurs qualités en Tunisie.

On peut dire globalement que 80 % des eaux de ruissellement du pays se trouvent dans le Nord, alors que la majorité des eaux souterraines se trouvent dans le centre et le Sud. En ce qui concerne la salure, on peut dire que 30 % des ressources ont une teneur en sels supérieure à 3 g de sels par litre et que la proportion des eaux samâtres augmente du Nord au Sud.

Pour les eaux souterraines cette proportion s'accroit comme suit :

10 % au Nord,

20 % au Centre

et 50 % au Sud.

On peut classer les eaux d'irrigation en fonction de leurs origines en quatre classes :

- les eaux de barrage ayant une salure qui évolue entre 0,2 g et 4 g de sels par litre suivant les saisons,
- les eaux d'oued utilisées par pompage direct et dont la salure varie suivant les saisons et suivant leur origine (source d'eau, eau de ruissellement) mais ne dépasse guère les 5 g de sels par litre,
- les eaux de nappe de surface pompées dans les puits de surface ayant une profondeur inférieur à 50 m et dont la salure évolue généralement entre 1 et 3 g de sels par litre,
- les eaux souterraines de nappes profondes dont la majorité est saumâtre ayant une teneur en sels qui évolue entre 1 et 7 g de sels/l.

Ainsi l'utilisation de l'eau saumâtre en irrigation constitue en Tunisie un domaine très important à cause d'une part de l'abondance d'eaux considérés comme saumâtres, titrant de 2 à 6 g de sels par litre et qui constituent environ 50 % des eaux souterraines dans le Sud et d'autre part de la tolérance de certaines cultures à la salure des eaux ce qui permet d'envisager la mise à l'irrigation de zones où seules des eaux saumâtres sont disponibles et qu'il faut valoriser.

III - Interaction Sol - Eau Saumâtre

Nous résumons sous ce thème la conduite des irrigations à l'eau saumâtre, les paramètres intervenant dans la salinité et l'alcalisation des sols, et le lessivage des sols.

1) Conduite des irrigations à l'eau saumâtre

L'irrigation avec les eaux saumâtres constitue bien entendu une technique très spéciale où des précautions très précises doivent être prises dans l'aménagement des sols (nivellement, drainage) et dans la conduite des irrigations principalement de la technique, rythme des apports, importance du lessivage.

En effet l'irrigation à l'eau saumâtre apporte des sels au sol qui sont dangereux car ils peuvent provoquer la salinisation du sol qui peut engendrer l'alcalisation dont les repercussions sont néfastes sur la structure. En effet l'irrigation à l'eau saumâtre peut provoquer des blocages d'éléments dans le sol et surtout une dispersion du complexe argilo-humide du fait de l'importante concentration en ions sodium.

En effet un mauvais emploi d'eau saumâtre risque de provoquer une évolution défavorable des sols et aussi une réduction de leur capacité de production pouvant aller jusqu'à la stérilité, à la suite d'accumulations de sels dans le sol et de l'alcalisation du complexe absorbant.

On doit alors veiller à évaluer les sels et à maintenir dans le sol et principalement dans la zone radiculaire une concentration faible en sels. On recherche à déterminer les besoins de lessivage en relation avec l'humidité et la salure du sol et la conductivité électrique des eaux d'irrigation et de drainage.

2) Principaux paramètres intervenant dans la salinité et l'alcalisation

Les principaux paramètres qui interviennent dans la salinité et l'alcalisation sont :

- la salure de l'eau d'irrigation et sa composition chimique

- le type du sol cractérisé par son profil et par la structure et la texture des différents horizons pédologiques qui influencent la fixation des sels

- la présence ou l'absence d'une nappe phréatique peu profonde qui risque lorsqu'elle est alimentée par les apports d'eau d'irrigation de s'élever progressivement et d'atteindre l'horizon sain prospecté par les racines

- la pluviosité annuelle, sa valeur et sa répartition au cours de l'année car elle intervient par son pouvoir lessivant

- les facteurs agissant sur l'évaporation tels que la température, la vitesse du vent etc...

Le maintien en bonne condition du sol irrigué à l'eau saumâtre nécessite la mâtrise de la salinité et de l'alcalisation.

Dès l'utilisation d'eau salée en irrigation, il est utile d'étudier l'évolution de la composition du complexe absorbant pour déterminer la fixation plus au moins importante du sodium par le sol. Cette fixation étant le phénomène de l'alcalisation qui, s'il se développe de façon exagérée, entraîne la destruction de la structure du sol avec toutes les conséquences que cela comporte (imperméabilité-asphyxie-stérilité).

Il est donc nécessaire :

- de contrôler la salinité en vue de pouvoir la maintenir à un niveau acceptble dan le sol et principalement dans la zone radiculaire. On cherche alors à définir la meilleure méthode d'irrigation, le mode et le régime d'apport à déterminer, les besoins de lessivage en relation avec l'humidité et la nature du sol, la qualité des eaux d'irrigation et le drainage.

3) Lessivage

Un des grands problèmes de l'irrigation avec l'eau saumâtre est de déterminer le régime d'apport d'eau permettant d'obtenir :

- d'une part un bon rendement des cultures et assurant une bonne valorisation de l'eau

- et d'autre part un lessivage satisfaisant du sol.

En d'autres termes : a-t-on intérêt à ajouter à chaque irrigation un complément qui permette de lessiver le sol (lessivage permanent) mais qui augmente en même temps la pointe des besoins en eau, ou au contraire à donner des apports réduits et à pratiquer le lessivage lors de certaines périodes où les disponibilités en eau sont plus grandes (lessivage saisonnier).

Doit-on resserrer l'intervalle entre les irrigations pour maintenir la concentration de la solution du sol à un niveau plus bas de façon à diminuer les effets nocifs des sels, ou au contraire peut-on espacer les tours d'eau et faire des apports plus importants.

Les résultats obtenus dans les essais d'irrigation à l'eau saumâtre entrepris dans nos stations expérimentales (Cherfech, Ksar Ghériss) montrent que la salure du sol évolue en dents de scie d'une saison à l'autre notamment dans les couches de surface (0 - 40 cm) ce qui est dû à l'action lessivante des pluies et des irrigations.

En général la salure du sol ne doit pas dépasser dans les conditions optimales une fois et demie la salure de l'eau d'irrigation.

IV - LES SYSTEMES D'IRRIGATION A L'EAU SAUMATRE ET L'ECONOMIE DE L'EAU :

1. Introduction :

Dans les régions semi-arides et arides Tunisiennes où l'eau est rare et généralement saumâtre, l'économie de l'eau à l'irrigation est nécessaire pour limiter la salinisation des sols, augmenter les superficies irriguées et accroître ainsi la production agricole.

Pour pouvoir réaliser cette économie d'eau un des moyens les plus efficaces est l'utilisation de systèmes d'irrigation modernes et traditionnels permettant la réduction de l'évaporation hydrique à la surface du sol et la limitation de la percolation d'eau en profondeur.

Dans ce qui suit nous présentons quelques systèmes d'irrigation et quelques essais expérimentaux pratiqués avec ces systèmes sur oliviers à la station expérimentale de Ksar Ghériss, les résultats de ces essais, et les réactions des oliviers vis à vis de ces moyens économiseurs de l'eau saumâtre.

2. SYSTEMES D'IRRIGATION GRAVITAIRE

2. 1. - Essai et régimes d'irrigation sur oliviers Variété "Chemlali" à la station expérimentale de Ksar Ghériss

Dans cet essai, le but est d'étudier l'influence de deux régimes d'irrigation (T1 et T2) combinés à deux doses d'eau (D1 et D2) sur le développement, la production et les besoins en eau de l'olivier variété "Chemlali" plantés en 1965. Le régime T1 correspond à des irrigations continues de janvier à septembre et T2 comporte un arrêt des irrigations aux mois de juillet et août. De 1971 à 1974 la dose D1 = 600 mm, la dose D2 = 1200 mm (système d'irrigation = irrigation par planche).

De 1975 à nos jours D1 = 0.4 Ev Bac classe A2 (enterré) et D2 = 0.8 Ev Bac classe A2 (enterré) (système d'irrigation = irrigation à la raie).

Les résultats des mesures d'évapotranspiration réelle (ETR) sur une période de 5 années ont montré que les oliviers consomment en moyenne par an sur les traitements T2 D1, T1 D1, T2 D2, T1 2 respectivement 43.1 %, 49.3 %, 54.6 % et 65.9 % de l'évaporation annuelle du bac classe A2 (enterré). Ceci permet de déduire que le traitement T2 D1 engendre par rapport au traitement T1 D2 une économie d'eau de 35 %, tout en remarquant que nous n'avons pas enregistré de différences entre les 4 traitements pour les rendements cumulés d'olives de 1971 à 1990.

3 - SYSTEME D'IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

3. 1 - Essai d'irrigation goutte à goutte sur oliviers

Un essai d'irrigation goutte à goutte a été installé à partir de 1976 à Ksar Ghériss. Lot 4 sur oliviers Chemlati (plantés en 1971 - écartement 6 x 6 irrigués avec une eau de 4 g/l de R.S).

Les rampes des goutteurs sont placés le long des lignes des arbres avec un goutteur tous les mètres. Le débit des goutteurs est 4 l/h. Deux traitements sont suivis : un traitement avec une dose faible (irrigations d'une durée de 4 h) et un traitement de dose forte (irrigations d'une durée de 8 h), avec un régime d'une irrigation tous les 3 à 4 jours.

3.2 - Distribution de l'eau dans les sols de Ksar Ghériss sous irrigation goutte à goutte

Les résultats de mesures de profils hydriques montrent que pour le traitement de faible dose le bulbe moyen de sol humidifié sous les goutteurs a une forme allongée dans le sens de la profondeur avec un diamètre de 1 m en surface de 1,20 m entre 10 cm et 1 m de profondeur.

Cette situation est observée 1 jour après l'irrigation. Trois jours après (avant l'irrigation prochaine) le bulbe se retrécit d'environ 25 cm sur toute sa surface latérale (Fig.1). Pour le traitement de forte dose le bulbe humidifié s'élargit en ayant après irrigation un diamètre de 2,25 m en surface et d'environ 2,50 m entre 30 cm et 1 m de profondeur et d'environ 2 m, à 1,20 m de profondeur. Trois jours après (avant l'irrigation prochaine) le bulbe se rétrécit de 10 à 70 cm dans la couche de surface 0 - 50 cm (Fig. 2).

3.3 - L'évapotranspiration réelle et l'économie de l'eau

Sous ce système d'irrigation, l'évaporation physique du sol et la percolation des eaux en profondeur sont limitées.

En tenant compte de la pluviométrie moyenne annuelle qui est de 184 mm sur 15 ans (1964 - 1979) ce système d'irrigation satisfait les besoins de l'olivier à 27 % et 33 % de l'évaporation Bac classe A2 (enterré) respectivement pour le traitement à faible dose et pour le traitement à forte dose. Ainsi le traitement de faible dose engendre par rapport au traitement de forte dose une économie d'eau de 18 % tout en remarquant que nous n'avons pas enregistré de différences entre les 2 traitements pour les rendements cumulés d'olives de 1976 à 1988.

3.4 - Salure du sol sous irrigation goutte à goutte :

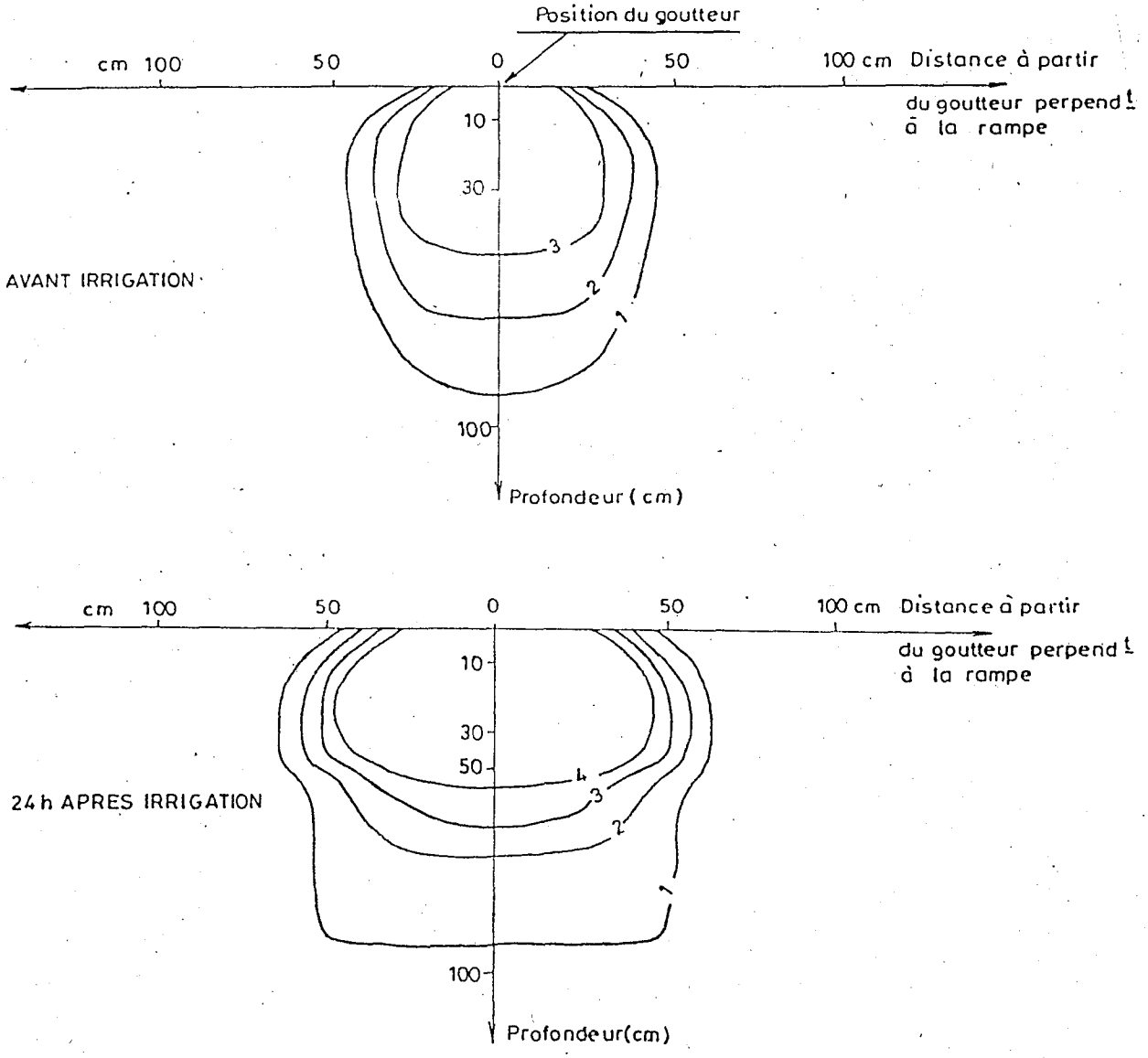
Les mesures de conductivité électrique de l'extrait de pâte de sol saturé dans la couche 0 - 120cm sous irrigation goutte à goutte sur une période de 6 ans (1976 - 1981) montrent une évolution du niveau de salure sans danger pour le sol et les arbres de Ksar Ghériss. Les valeurs moyennes obtenues sont inférieures à 5,4 mmhos/cm. Ces niveaux de salure sont comparables à ceux observés sous irrigation à la raie.

Fig. 1 - Ksar Gheriss - Irrigation Goutte à Goutte sur Oliviers

Traitement Dose Faible (durée des irrigations = 4 h)

Bulbes de sol humidifié moyens sous goutteurs (débit 41/h)

(Période de juillet à octobre - 4 répétitions)



1 - Courbe d'égal pF correspondant à 12 % de l'eau utile (pF 4,0)

2 - Courbe d'égal pF correspondant à 24 % de l'eau utile (pF 3,8)

3 - Courbe d'égal pF correspondant à 35 % de l'eau utile (pF 3,6)

4 - Courbe d'égal pF correspondant à 47 % de l'eau utile (pF 3,4)

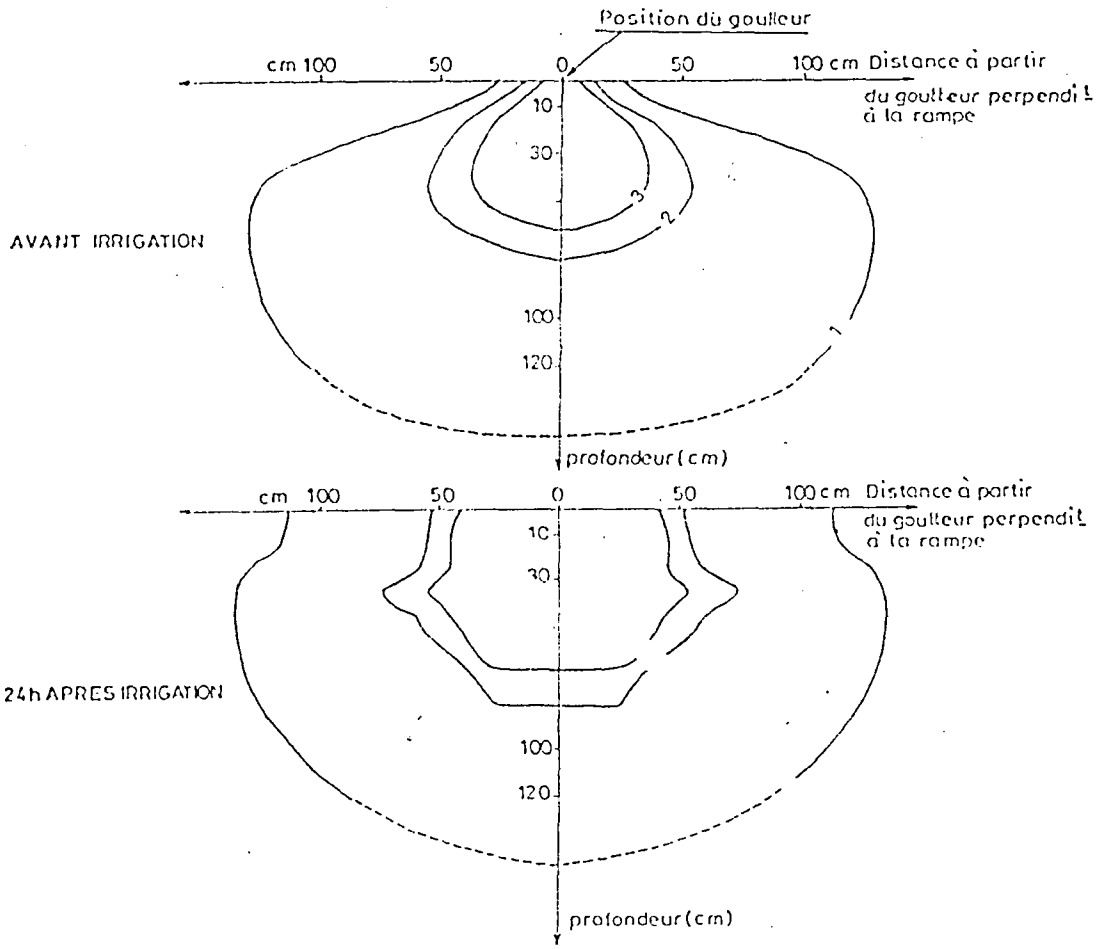
Eau utile correspondant par convention à la différence entre la capacité de retention et le point de flétrissement

Fig. 2 - Ksar Gheriss - Irrigation Goutte à Goutte sur Oliviers

Traitement Dose Forte (durée des irrigations = 8 h)

Bulbes de sol humidifié moyens sous goutteurs (débit 4l/h)

(5 répétitions - Période juin à octobre)



1 - Courbe d'égal pF correspondant à 12 % de l'eau utile (pF 4,0)

2 - Courbe d'égal pF correspondant à 24 % de l'eau utile (pF 3,8)

3 - Courbe d'égal pF correspondant à 35 % de l'eau utile (pF 3,6)

4 - Courbe d'égal pF correspondant à 47 % de l'eau utile (pF 3,4)

Eau utile correspondant par convention à la différence entre la capacité de retention et le point de flétrissement

4 - SYSTEME D'IRRIGATION SOUTERRAINE PAR JARRES ENTERREES

4. 1. - Principe du système d'irrigation souterraine par jarres enterrées

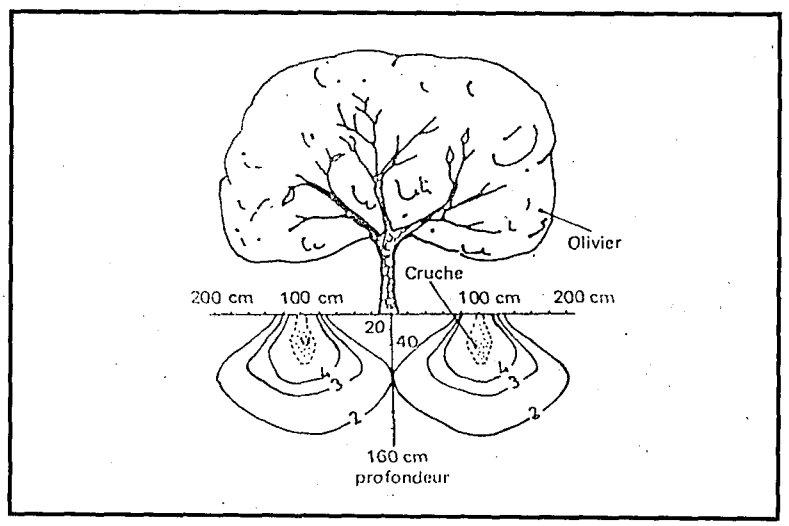
Ce système d'irrigation traditionnel consiste à enterrer des cruches en poterie à proximité des arbres en laissant affleurer de quelques centimètres le bord des cruches pour pouvoir les remplir régulièrement d'eau.

En contact avec la cruche, le sol exerce sur la paroi de celle-ci une succion, et l'eau traverse cette paroi poreuse en humidifiant les zones racinaires et alimente ainsi les arbres.

4. 2. - Essai expérimental préliminaire

Un essai a été suivi à Ksar Ghériss sur des oliviers à partir de mai 1978 afin de chiffrer le débit d'eau, de limiter le bulbe humidifié et réhabiliter au besoin le système. A cet effet, douze cruches ont été enterrées dans l'oliveraie du lot 5 de Ksar Ghériss pour 2 varités : l'Assoued de Gofra et R assuola, à raison de 2 cruches par arbre à une distance de 1 m du tronc. Les premiers résultats de mai 1978 à mai 1980 montrent que le débit moyen de suintement est de 2 l par jour et par cruche de mai à août, et de 1,25 l par jour et par cruche de septembre à avril. Ce qui donne 1097 l/arbre/an, soit 343,3 m³/ha/an.

Le bulbe humidifié moyen, autour des cruches, a un diamètre de 1,60 m à 50 cm de profondeur, et un diamètre de 2 m à 80 cm de profondeur, puis ce diamètre décroit et devient égal à 1 m, à 1,30 m de profondeur, et redevient pratiquement nul vers 1,50 m de profondeur. (Voir schéma ci-après).



- 2 - Courbe d'égal pF correspondant à 20 % de l'eau utile (pF 3,8)
- 3 - Courbe d'égal pF correspondant à 35 % de l'eau utile (pF 3,6)
- 4 - Courbe d'égal pF correspondant à 50 % de l'eau utile (pF 3,4)

Eau utile correspondant par convention à la différence entre la capacité de retention et le point de flétrissement.

Ksar Gheris : irrigtions par cruches enterrées sous oliviers.
Bulbes moyens de sol humidifié sous les cruches.
(Moyennes de 7 répétitions - Période : mai à novembre)

En tenant compte de la pluviomètrie moyenne annuelle sur 15 ans (1964 - 1979) qui est de 184 mm, ce système d'irrigation satisfait, dans ces conditions les besoins de l'olivier à 13 % de l'évaporation bac classe A2 (enterré).

L'apport d'eau avec ce système et au cours de cet essai expérimental préliminaire étant relativement faible, nous avons pensé améliorer la situation, d'une part, en cherchant un matériel de poterie plus poreux et, d'autre part, en utilisant un procédé permettant d'avoir les jarres remplies en continu à l'échelle de la parcelle.

4.3 - Essai expérimental à l'échelle de la parcelle avec automatisation de l'alimentation en eau des jarres :

A partir de janvier 1983, une parcelle à Ksar Ghériss de 48 oliviers, avec une densité de plantation 4 sur 6 mètres, a été équipée par ce système d'irrigation souterraine par jarres de meilleure porosité et à raison d'une jarre par arbre. L'alimentation en eau des jarres est effectuée automatiquement à l'aide d'un réservoir à niveau d'eau constant relié aux jarres par tuyaux en plastique. Ces jarres restent constamment remplies d'eau; ce qui a augmenté les débits de suintement des cruches. Les résultats des mesures ont montré que ce système à l'échelle de la parcelle satisfait les besoins en eau de l'olivier à 21,5 % de l'évaporation bac classe A2 (enterré) avec un débit de suintement moyen des jarres de l'ordre de 6 l/j.

Comparé au système d'irrigation goutte à goutte utilisé sur la même parcelle de Ksar GHériss et qui satisfait les besoins de l'olivier à 27 % de l'évaporation, ce système s'avère insuffisant quant à l'apport d'eau. Ceci nous a amené à augmnter le nombre de jarres par arbre.

A partir de juin 1986 nous avons porté le nombre de jarres par arbre de 1 à 3, ce qui a amené le système d'irrigation par jarre à satisfaire les besoins en eau de l'olivier à 27 % de l'évaporation bac classe A2. La situation s'est ainsi améliorée du point de vue satisfaction des besoins hydriques et rendement des oliviers.

4.4 - Comparaison entre le système d'irrigation par jarres et le système d'irrigation par goutte à goutte sur oliviers variété Oueslati.

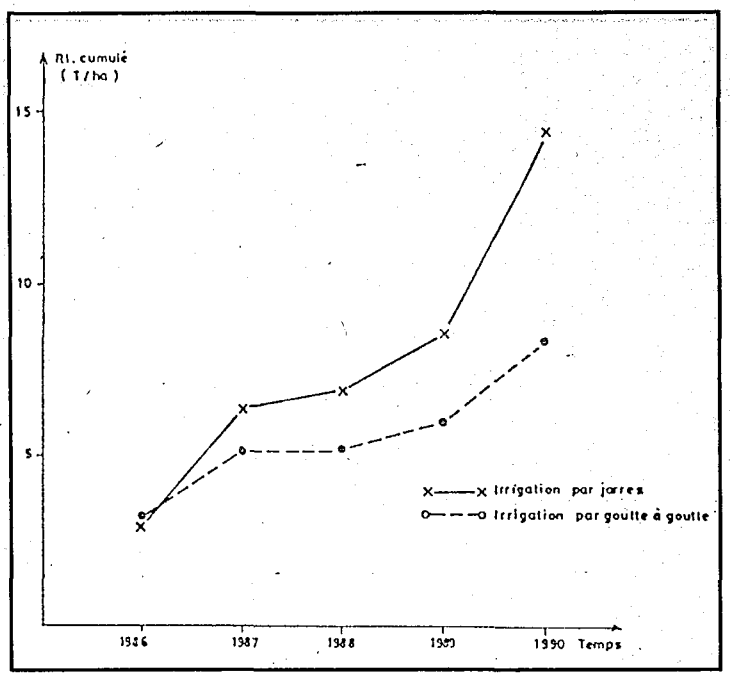
Les résultats des mesures sur le système d'irrigation par jarres pratiqué en continu à raison de 3 jarres par arbre et sur le système d'irrigation par goutte à goutte pratiqué en discontinu à raison de 4 goutteurs par arbre montrent dans la période 1986 - 1990 (Tableau Annexe) ce qui suit :

- l'apport d'eau annuel moyen par le système d'irrigation par jarres est évalué à 180 mm et par celui du goutte à goutte à 213 mm. Ce qui engendre des valeurs moyennes annuelles de l'apport (irrigation + pluie) égales à 364 mm et 397 mm respectivement pour le 1er et pour le 2ème système. En outre ces apports d'eau ont amené la salure du sol sous les jarres et sous les goutteurs à des niveaux comparables ne dépassant guère la valeur de 5,4 mmhos/cm.

Ce niveau de salure est en fait sans danger pour les oliviers et les sols sableux de Ksar Ghériss.

- Le volume de sol humidifié sous jarres est plus important que celui sous goutteurs. Il est évalué à 2 m3 par jarre soit 6 m3 par arbre et à 0,628 m3 par goutteur soit 2,5 m3 par arbre. Ceci prouve que l'irrigation par jarres assure une économie d'eau par rapport au goutte à goutte en limitant plus les pertes par évaporation en surface et les pertes par percolation en profondeur. Cette économie d'eau et cette meilleure exploitation de l'eau par les racines sous jarres peuvent expliquer les valeurs de rendements cumulés de 1986 à 1990 sous les 2 systèmes et qui sont de 14,4 (tonnes/ha) pour le système par jarres et de 8,3 (tonnes/ha) pour le système goutte à goutte (Fig. 3).

Fig. 3 - Ksar Gheriss - Oliviers Oueslati - Plantés en 1971
Densité = 4 x 6 m
Système d'Irrigation par Jarres et par Goutte à Gouttes
Comparaison des rendements cumulés (1986 - 1990) en T/ha



5 - CONCLUSION

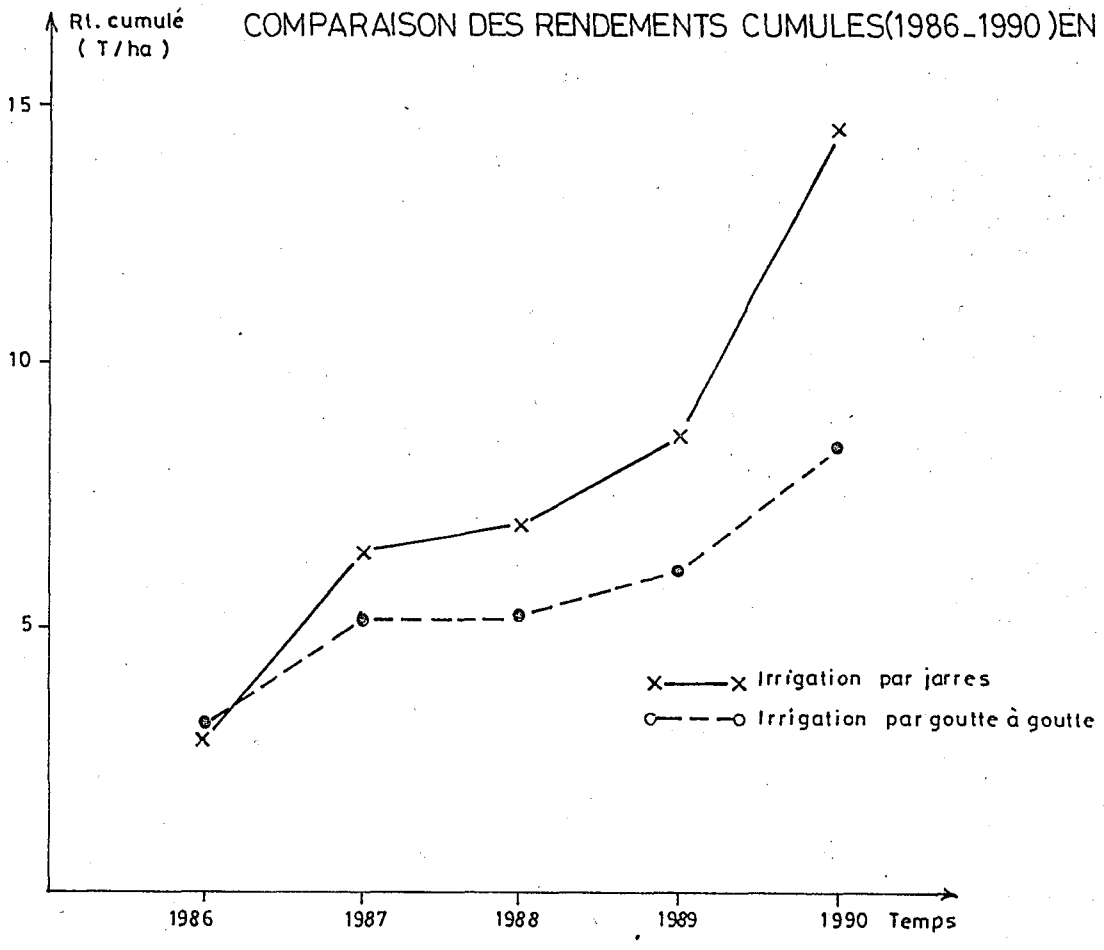
Dans les régions semi-arides et arides tunisiennes où l'eau est rare et généralement saumâtre il est possible d'utiliser les systèmes d'irrigation économiseurs d'eau saumâtre employant l'irrigation localisée. Ces systèmes d'irrigation permettent d'économiser de l'eau et d'augmenter les superficies irriguées dans ces régions. Cependant la pratique de l'irrigation à l'eau saumâtre nécessite quelques précautions à prendre tel que le choix d'un sol léger autant que possible, le contrôle régulier de la salure du sol dans la zone racinaire et le maintien de cette salure à un niveau acceptable en intervenant, au besoin par le "lessivage des sels".

ANNEXE

Essai systèmes d'irrigation sur oliviers variété "Oueslati" plantés en 1971
- densité 6 x 4 m - Station expérimentale de Ksar Ghériss/comparaison entre système d'irrigation par jarres et système d'irrigation goutte à goutte (période = 1986 - 1990).

Système d'irrigation	Irrigation par jarres	Irrigation par goutte à goutte	Augmentation en faveur des jarres
Période d'irrigation (mois / an)	8 mois	8 mois	
Nombre des irrigations par an	240	80	
Nombre d'heures par irrigation	24 h	4 h	
Débit de suintement d'une jarre ou d'un goutteur	6 l/j	4 l/h	
Eau apportée annuelle par jarre ou par goutteur	1440 l	1280 l	
Nombre de jarres ou de goutteurs par arbre	3	4	
Eau apportée annuelle par arbre (l)	4320 l	5120 l	
Eau apportée annuelle (mm)	180	213	
Pluviomètrie moyenne annuelle (mm)	184	184	
(Irrigation + pluie) moyenne annuelle (mm)	364	397	- 9 %
Volume de sol humidifié sous 1 goutteur ou sous 1 jarre	2 m3	0,628 m3	
Volume de sol humidifié par arbre	6 m3	2,512 m3	+ 139 %
Rendement cumulé dans la période (1986-90) tonnes/ha	14,4	8,3	
Rendement moyen (tonnes/ha/an).	2,9	1,7	+ 70 %

_Fig: 3 _ KSAR GHERISS _ OLIVIERS OUESLATI _ PLANTES EN 1971
DENSITE :4 x 6 m
SYSTEME D'IRRIGATION PAR JARRES ET PAR GOUTTE A GOUTTE



CRDA 9164

COMPORTEMENT DE QUELQUES CULTURES ANNUELLES ET ARBUSTIVES IRRIGUEES A L'EAU SAUMATRE

E. BOUAZIZ
Centre de Recherches du Génie Rural

RESUME :

Etant donné nos conditions climatiques caractérisées par un déficit hydrique dont l'importance varie en fonction des régions, toutes les ressources en eau doivent être valorisées. A ce titre l'utilisation des eaux saumâtres en irrigation constitue en Tunisie un domaine très important à cause d'une part de l'abondance d'eaux considérées comme saumâtres, titrant de 2 à 6 g de sels par litre et qui constituent environ 50 % des eaux souterraines dans le Sud du pays et à cause d'autre part de la tolérance de certaines cultures à la salure des eaux, ce qui permet d'envisager la mise à l'irrigation de zones où seules des eaux saumâtres sont disponibles et qu'il faut valoriser. Cependant l'irrigation à l'eau saumâtre constitue une technique très spéciale, où des précautions précises doivent être prises. En effet, un mauvais emploi d'eau salée risque de provoquer une dégradation des sols pouvant aller jusqu'à la stérilité des sols et une chute de la production.

C'est dans ce cadre que le Centre de Recheches du Génie Rural entreprend depuis les années 60 des essais d'irrigation avec une telle eau, sur des cultures annuelles et arbustives. L'objectif principal de ces essais est l'étude du comportement de ces espèces conduites en intensif et irriguées avec des eaux saumâtres en vue de déterminer leur tolérance à la salinité.

Ces travaux de recherches sont menés à la station expérimentale de Cherfech située dans la basse vallée de la Medjerda spécialisée dans les cultures annuelles et à la station de Ksar Gheriss située dans les grandes steppes de la Tunisie Centrale, gouvernorat de Sidi Bouzid et spécialisée dans les cultures arbustives notamment l'olivier, le grenadier et le pistachier.

I - RESULTATS OBTENUS SUR CULTURES ANNUELLES

Il ressort des résultats obtenus à Cherfech et présentés sur le tableau 1 que l'utilisation des eaux saumâtres se révèle possible pour une gamme de cultures assez large moyennant une certaine baisse de rendement variable avec les cultures qui sont plus ou moins résistantes à la salure.

En effet, la salure de l'eau d'irrigation agit sur celle du sol qui, à son tour, influe sur la production agricole qui a tendance à diminuer par rapport à un témoin dès que la conductivité de l'eau augmente. L'analyse minérale des plantes montre que parmi les cations analysés c'est l'ion sodium qui a tendance à s'accumuler dans les tissus végétaux dès que la conductivité de l'eau augmente. Cette augmentation de la teneur en sodium est variable suivant les plantes et on constate qu'accroissement du taux de sodium et réduction du taux de matière sèche vont de pair. De plus on remarque que la baisse du rendement semble être liée à une accumulation de sodium et un appauvrissement en potassium. Par ailleurs, l'effet de la salinité sur la croissance des cultures est attribué à la réduction de l'absorption de l'eau par la plante. On estime que les plantes qui résistent aux sels sont capables de mieux profiter de l'humidité du sol à solution salée.

Cependant l'effet osmotique n'explique pas suffisamment les différences entre les cultures quant à leur tolérance à la salinité et on estime que les facteurs écologiques jouent un grand rôle dans le comportement des espèces vis à vis de la salinité.

Cependant il faut noter que quelle que soit la tolérance des cultures, lorsque la salinité du sol augmente considérablement, le rendement qui diminue peut devenir nul et la plante peut même périr. Ceci est illustré par les figures 1 qui représentent la relation entre le rendement des cultures et la salinité du sol.

Par ailleurs, il se dégage des résultats obtenus et présentés sur les figures 2, 3 et le tableau 1 que :

- pour les cultures tolérantes à la salure telles que le coton, le tournesol, l'orge, le blé, la betterave à sucre, l'asperge, l'artichaut et la luzerne, on peut atteindre une salure de l'eau d'irrigation de 3,5 g/l de résidu sec sans baisse de rendement notable inférieure à 15 %,

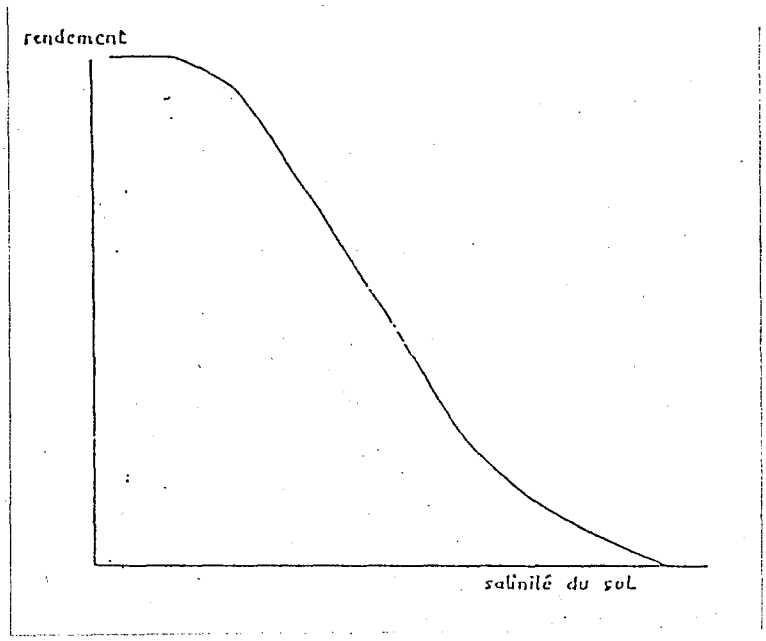
- pour les plantes moyennement tolérantes à moyennement sensibles à la salure telles que le sorgho, le maïs, le choux fleur, la pomme de terre, la fève, le bersim, le piment, la pastèque, le melon et la tomate on peut atteindre une salure de l'eau d'irrigation de 2,5 g/l moyennant une chute de rendement inférieure à 25 % par rapport au témoin.

Enfin, il faut remarquer que les résultats obtenus permettent de classer les cultures d'après leur tolérance relative en cultures sensibles, moyennement sensibles, moyennement tolérantes et tolérantes comme indiqué sur les tableaux 2 et 3 ce qui facilite le choix des cultures en condition de salinité.

Tableau 1 : Rendements de quelques cultures annuelles en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation de surface (Cherfech 1965 - 1978)

Culture	Rendement	Salinitéde l'eau d'irrigation (g / l)			
		0,2	1,5	2,5	3,5
Coton	q x / ha %	25,8 100	24,8 96	39,0 120	33,4 129
Tournesol	q x / ha %	38,2 100	41,7 109	40,6 106	40,4 106
Blé	q x / ha %	51,6 100	51,4 100	46,5 90	50,9 99
Betterave à sucre	T / ha %	72,1 100	66,8 93	67,3 93	70,6 98
Luzerne	T / ha %	68,8 100	72,5 105	67,1 97	65,1 95
Artichaut	1000 capitules/ha %	81 100	81 100	72 89	69 85
Choux fleur	T / ha %	11,5 100	11,9 103	10,0 87	9,3 81
Pomme de terre saison spun	T / ha %	41,5 100	39,0 94	35,2 85	29,5 71
Fève	T / ha %	15,1 100	12,9 85	10,6 70	10,1 67
Bersim	T / ha %	78,9 100	70,5 90	56,7 78	48,8 62
Sorgho fourrager	T / ha %	91,0 100	75,8 83	66,6 73	54,3 60
Pastèque	T / ha %	10,4 100	9,6 92	8,1 78	6,2 60
Piment	T / ha %	33,5 100	29,1 87	25,4 76	19,8 59
Maïs grain	q x / ha %	88,1 100	75,9 86	66,0 75	50,6 57
Melon	T / ha %	18,6 100	19,6 105	15,9 85	10,2 55
Tomate	T / ha %	68, 100	66,1 97	40,8 60	34,5 50
Soja	q x / ha %	32,5 100	21,9 67	20,7 63	14,1 43

Fig. 1 - Relation entre Rendement et Salinité



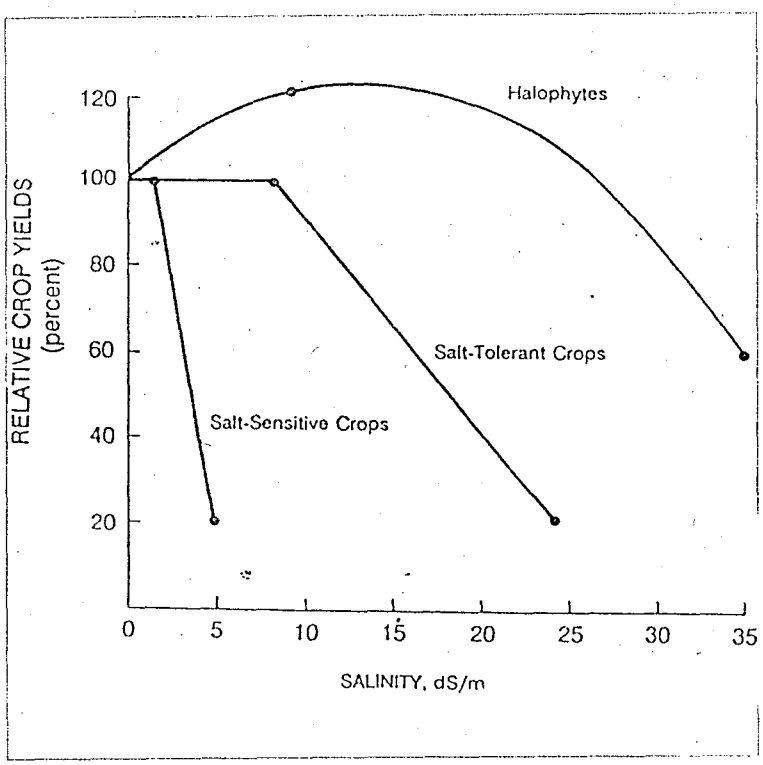


Fig. : 2 - Relation entre Rendement et salure de l'eau

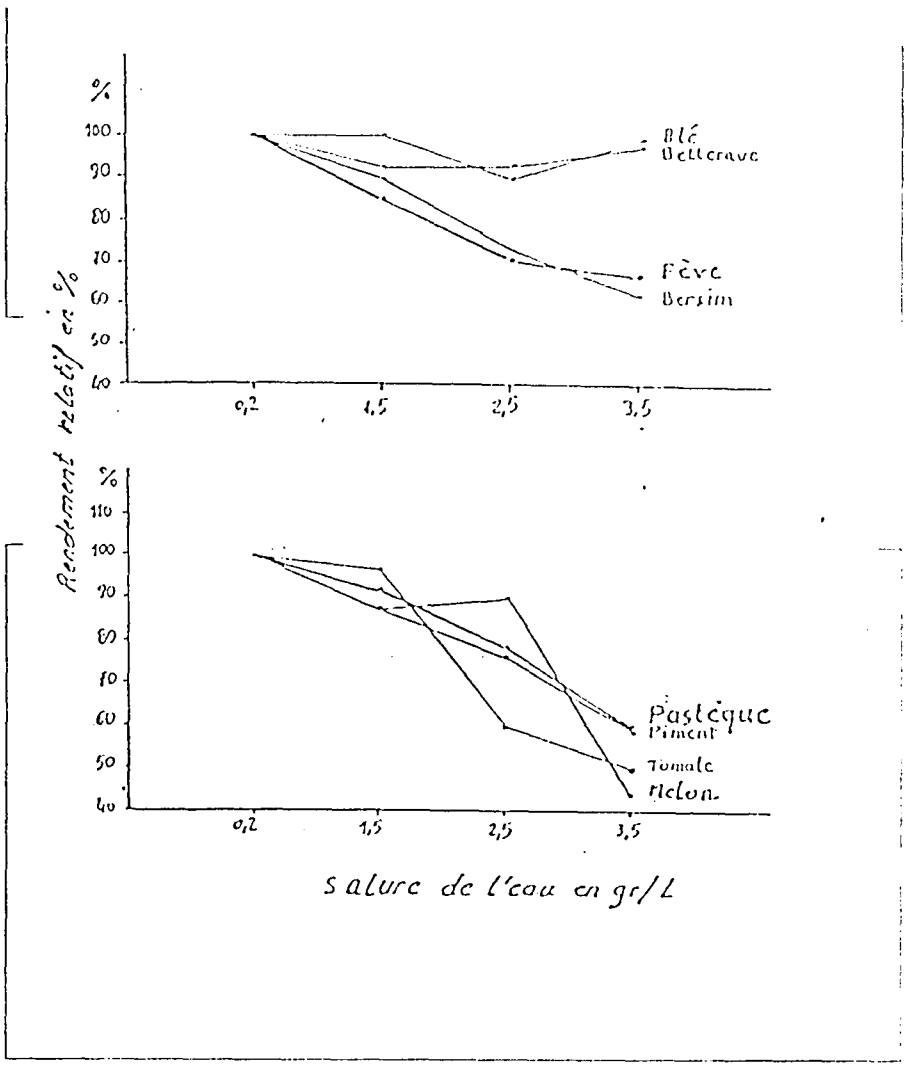


Fig. : 3 - Relation entre Rendement et salure de l'eau

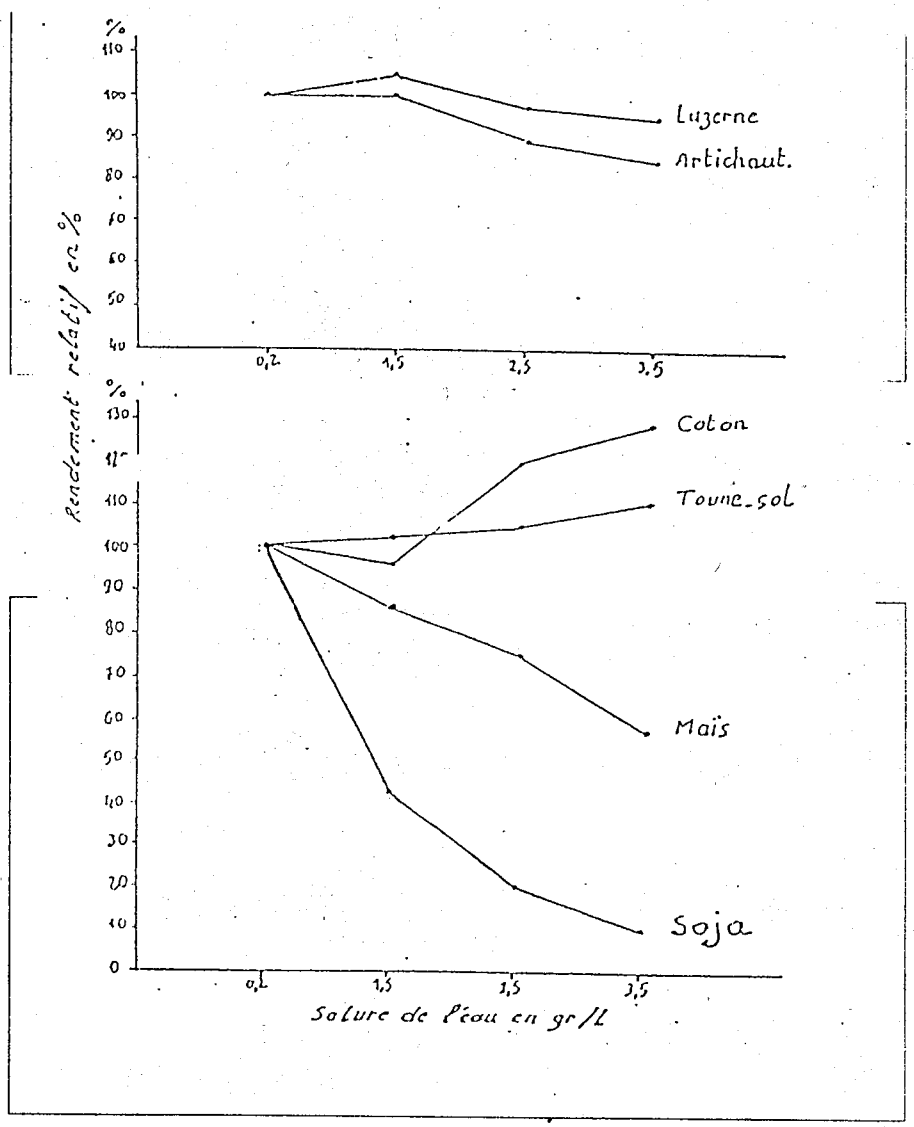


Tableau 2 : Influence de la salure de l'eau d'irrigation sur le rendement des cultures suivant leur tolérance à la salinité

Plantes	Sensibles	Moyennement sensibles	Moyennement tolérantes	Tolérantes
Rendement	Salure de l'eau d'irrigation en g/l et en mmhos/cm			
100 %	0.7 g - 1.0 mmhos	2.0 g - 3.0 mmhos	3.0 g - 4.0 mmhos	5.0 g - 7.0 mmhos
50 %	2.0 g - 3.0 mmhos	5.0 g - 7.0 mmhos	7.0 g - 10.0 mmhos	10.0 g - 14.0 mmhos
0 %	3.5 g - 5 mmhos	7.0 g - 10.0 mmhos	11.0 g - 14.0 mmhos	15.0 g - 21 mmhos
Espèces Végétales	Haricot - Soja - Carotte - Oignon - Pommier - Poirier Agrumes - Pêcher - Amandier - Prunier	Maïs - Bersim Chou-Fleur - Concombre Piment - Tomate Pomme de terre - Fève - Vignes	Blé - Archichaut - Courge - Luzerne - Tourne-sol Olivier - Grenadier Pistachier - Figuier	Cotonnier - Betterave à sucre Orge - Asperge - Jojoba - Palmier Dattier

Tableau 3 : Composition chimique de l'eau d'irrigation : Sondage de Ksar Ghériss

C.E. à 25° C en mmhos/cm	RESIDU SEC en g/1	p.H.	Anions meq/1			Cations meq./1				S.A.R
			$CO3\ H^-$	$S04^{--}$	$C1^-$	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	
4,9	4.0	7.5	3.2	37.9	20.9	29.0	0.6	18.0	15.3	7.1

II - ESSAIS REALISES SUR CULTURES ARBUSTIVES ET RESULTATS OBTNUS :

Ces essais sont menés dans le cadre de notre station expérimentale de Ksar Gheriss, couvrant une superficie totale de 30 hectares et située dans la région des basses steppes de la Tunisie Centrale. Le sol y est brun steppique, peu évolué sableux et reposant sur une couche à nodules calcaires se trouvant entre 40 et 70 cm de profondeur. La nappe phréatique est profonde et se trouve à plus de 20 m.

L'eau d'irrigation, pompée d'un forage débitant environ 50 1/s, titre 4 g de résidu sec par litre, dont 1,4 g de chlorure de sodium, le reste étant formé surtout de sulfate de calcium et de magnésium.

Le climat est du type steppique, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver relativement froid et une pluviométrie moyenne de 180 mm par an.

Le choix a été porté sur l'olivier, le pistachier et le grenadier qui sont considérés comme des espèces rustiques, très peu exigeantes du point de vue sol, assez résistantes aux conditions

climatiques arides de la région et assez tolérantes à la salure de l'eau d'irrigation. Ces plantations qui ont commencé en 1965 avec 5 ha d'oliviers et 5 ha de pistachiers, ont occupé en 1971, toute la superficie agricole utile de la station avec actuellement 12 ha d'oliviers, 8 ha de pistachiers, 3 ha de grenadiers, 1 ha de jojoba et Casuarina comprenant au total 10.000 arbres âgés actuellement de 20 à 25 ans. Ces arbres conduits à forte densité (300 à 600 pieds/ha) et irrigués à l'eau saumâtre, font l'objet de divers essais de doses, de régimes et de mode d'irrigation, de densité de plantation, de comportement variétal.

II - 1 - ESSAIS ENTREPRIS SUR OLIVIERS

II - 1.1 - Essai doses et régimes d'irrigation à la raie

Cet essai porte sur des oliviers de la variété chemlali à huile plantés en 1965 avec des écartements de 8 x 4 m, correspondant à une densité de plantation de 312 pieds par hectare.

L'objet de cet essai consiste à déterminer l'influence de deux régimes d'irrigation, T1 et T2, combinés à deux doses d'eau D1 et D2 sur le comportement et la production de l'olivier. Les doses d'eau correspondant à des taux de rationnement de 0,4 E pour D1 et 0,8 pour D2, E étant l'évaporation en mm du bac classe A2. Le régime T1 correspond à un apport d'eau continu de février à octobre avec un tour d'eau moyen de 4 semaines au printemps et en automne et de 3 semaines en été. Le régime T2 diffère de T1 essentiellement par la réduction de moitié dans les doses apportées aux mois de juillet et d'août.

Quatre traitements sont donc appliqués en quatre répétitions et les doses moyennes apportées annuellement par cycle végétatif sont respectivement de l'ordre de :

300 mm pour le traitement T2 D1
400 mm pour le traitement T1 D1
600 mm pour le traitement T2 D2
800 mm pour le traitement T1 D2

Résultats et discussions :

Les oliviers sont entrés en production à l'âge de 6 ans, la première récolte ayant eu lieu en automne 1971 et les rendements obtenus au cours des 20 dernières années (1971 - 1990) et exprimés en tonnes d'olives par hectare sont présentés sur les graphiques 4.

On remarque sur le graphique 4 que la production moyenne annuelle des oliviers varie d'une année à l'autre ce qui donne une succession d'années de bonnes et de faibles récoltes. Il en résulte que l'olivier, var.Chemlali, subit malgré les apports d'eau d'irrigation le phénomène de l'alternance.

On observe d'autre part que l'effet du phénomène d'alternance varie d'un traitement à l'autre et qu'il est d'autant plus accentué que la dose d'eau est plus élevée. En effet le traitement T2 D1 correspondant à la dose faible de 300 mm/an atténue l'alternance en donnant de 1975 à 1987 des rendements presque équivalents de l'ordre de 4 à 6 tonnes d'olives par hectare d'une année à l'autre. Au contraire pour le traitement T1 D2 correspondant à la dose forte de 800 mm/an les rendements varient beaucoup d'une année à l'autre en passant par exemple de plus de 10 tonnes/ha en 1976 - 78 - 80 - 82 - 84 - 87 et 89 à moins d'une tonne par ha en 1977 - 79 - 81 - 83 - 85 - 88 et 90. Les deux autres traitements T1 D1 de 400 mm/an et T2 D2 de 600 mm/an, donnent des rendements intermédiaires.

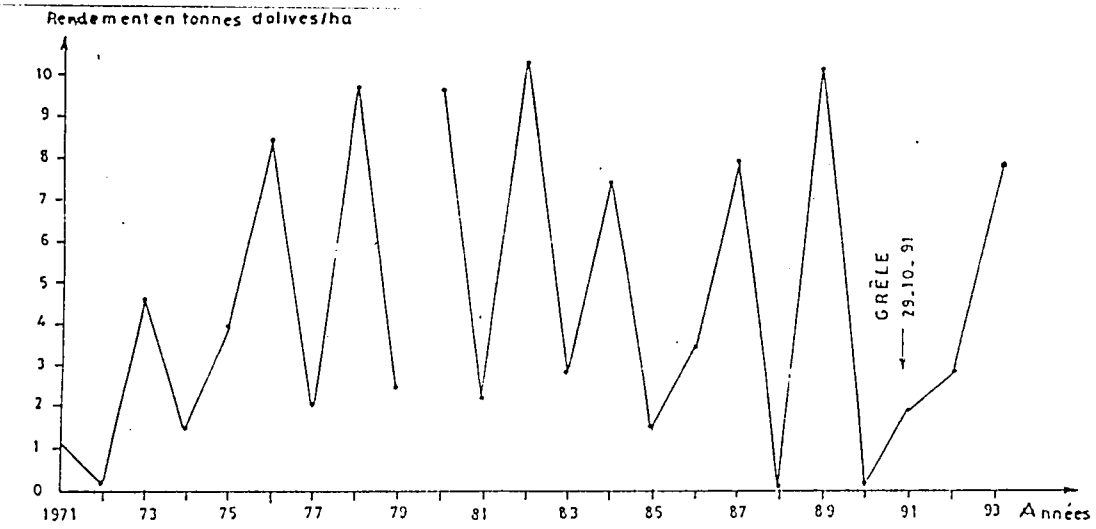
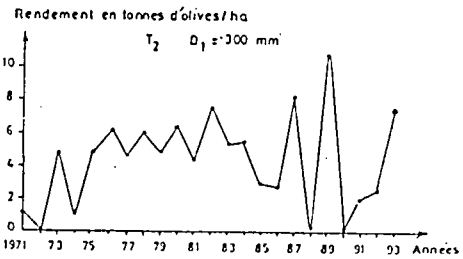
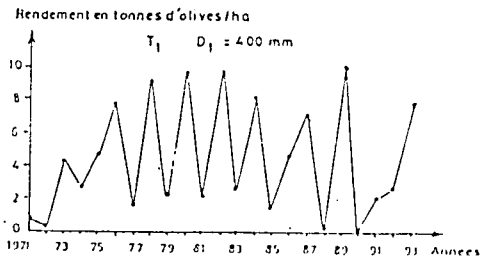
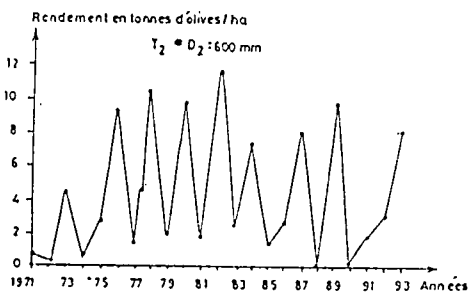
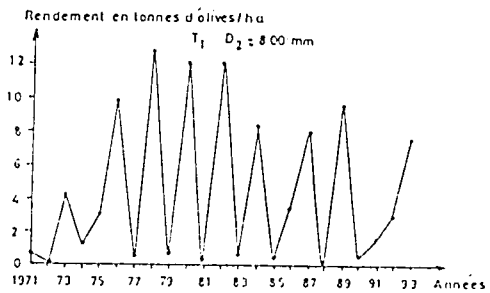


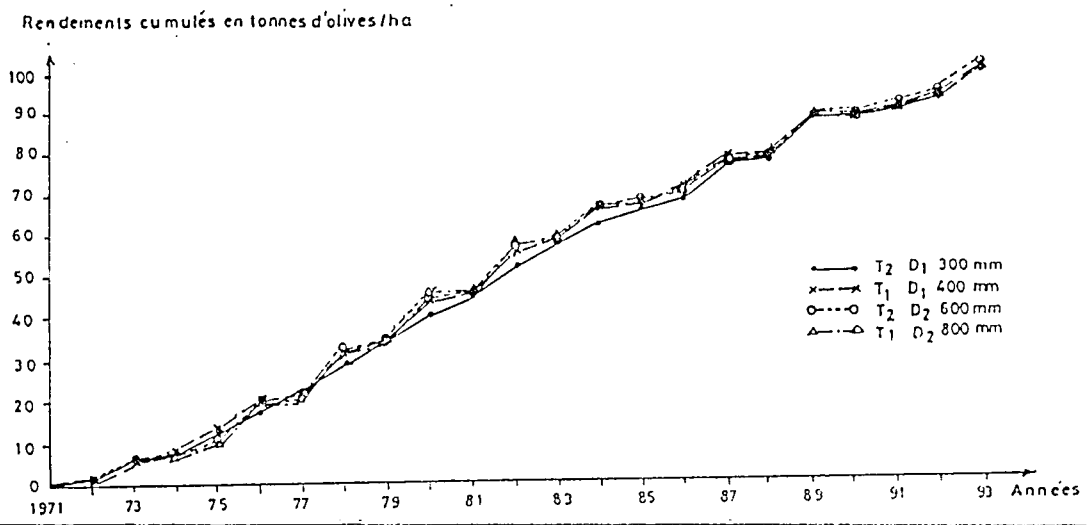
FIG : 4 Evolution des rendements annuels moyens en tonnes d'olives/ha, au cours du temps dans l'essai irrigation à la raie des oliviers chemlali plantés en 1965 à la deensité de 312 pids/ha - 8 X 4m.











Seulement on constate que les rendements cumulés pendant la même période de 20 ans de 1971 à 1990, varient très peu en fonction des traitements appliqués, malgré les variations des rendements d'une année à l'autre et d'un traitement à l'autre. En effet les différences des rendements cumulés sont faibles et ne sont pas significatives. Il en résulte que l'olivier, variété Chemlali, cultivé dans nos conditions expérimentales et mis à part l'effet de l'alternance, ne répond pas à l'augmentation des doses d'eau d'irrigation, son niveau de production cumulée étant le même, quel que soit le traitement appliqué, donnant un rendement annuel moyen de l'ordre de 5 tonnes d'olives par hectare. Il en résulte que l'olivier ne valorise pas des doses d'eau très élevées supérieures à 300 ou 400 mm par cycle végétatif.

Ainsi l'olivier se contente de très faibles doses d'eau, nécessaires à un développement optimal de l'arbre et des fruits et qu'il faut fractionner le plus économiquement possible en fonction des données climatologiques et périodes critiques des besoins en eau.

II - 1. 2 - ESSAI DOSES D'IRRIGATION AU GOUTTE à GOUTTE

Dans le but d'essayer l'irrigation goutte à goutte sur oliviers irrigués à l'eau saumâtre, titrant 4 g de résidu sec par litre, on a équipé environ 3 hectares d'oliviers par le système Nétafim.

Dans cet essai les oliviers également, de la variété Chemlali, ont été mis en place à l'état de souchets en Février 1971 avec des écartements de 6 x 6 m, correspondant à une densité de 278 pieds à l'hectare, conduits au monotronc.

L'objet de cet essai consiste à étudier dans les conditions d'irrigation avec de l'eau saumâtre, l'effet de ce mode d'irrigation goutte à goutte sur le comportement du sol, sur la réaction de l'arbre et sur les possibilités d'économie de l'eau.

Le protocole d'essai comprend deux traitements doses D1 et D2 en 6 repétitions de 66 arbres chacune. Le régime d'irrigation est continu de Février à Octobre et les doses d'eau apportées correspondent à des taux de rationnement de 0,2 E pour D1 et 0,4 E pour D2, E étant l'évaporation en mm du bac classe A2. Les doses apportées annuellement sont de l'ordre de 260 mm pour D1 et 400 mm pour D2 dont 120 mm apportés à la raie.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les oliviers sont entrés en production à l'âge de cinq ans, la première récolte ayant eu lieu en automne 1975 et les rendements obtenus en cours des 16 dernières années de 1975 à 1990 et exprimés en tonnes d'olives par hectare sont présentés sur le graphique 5.

On remarque que les rendements annuels et par la même les rendements cumulés au cours des 16 dernières années, varient très peu en fonction des doses d'eau appliquées, ce qui confirme les résultats déjà obtenus dans l'essai précédent. De même et malgré l'irrigation localisée et régulière apportée par le goutte à goutte, on constate que l'olivier variété Chemlali continue à alterner fortement sa production d'une année à l'autre. Toutefois on observe une légère augmentation de l'ordre de 10 % des rendements annuels et surtout cumulés obtenus en faveur des oliviers irrigués au goutte à goutte par rapport aux oliviers témoins irrigués à la raie (400 mm/an).

II - 1. 3 - ESSAI DE COMPORTEMENT VARIETA L

Treize variétés d'oliviers à olives de table et à huile, locales et introduites ont fait l'objet d'un essai de comportement variétal sous régime intensif et irrigué avec de l'eau saumâtre titrant 4 g

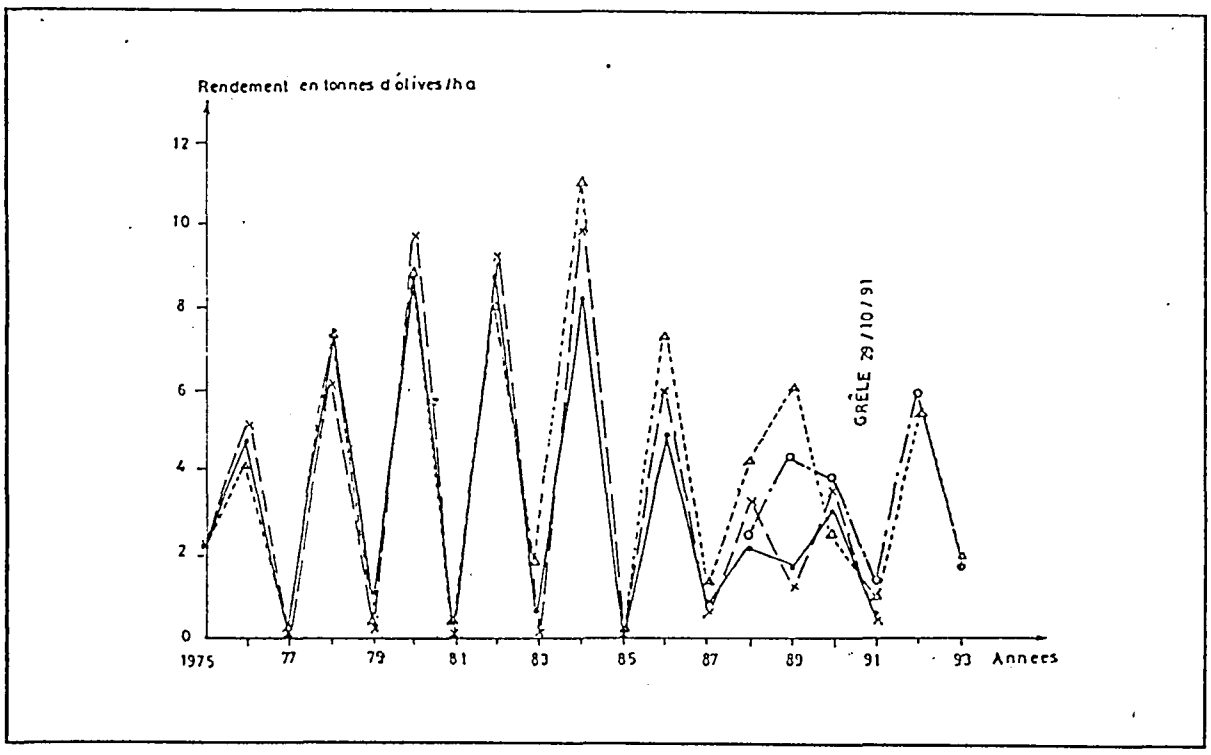


Fig. 5. - Evolution des rendements annuels en tonnes d'olives/ha, dans l'essai doses d'irrigation au goutte à goutte sur oliviers chemlali plantés en 1971 à la densité de 278 pieds/ha 6mx6 - Irrigation goutte à goutte D1 _____ D2x _ _ _ x
Irrigation à la raie témoin ▲.....▲
Irrigation à la raie ex. irrigation goutte à goutte o.....o

de sels par litre. Les résultats obtenus au cours des 14 dernières années (1980 - 1993) montrent que l'irrigation a permis de conduire les oliviers en forte densité, de favoriser une mise à fruits rapide et d'augmenter la production.

Au début, ces essais ont porté sur les variétés oueslati, picholine et coratine en comparaison avec la chemlali. Les oliviers Oueslati, picholine et Chemlali sont plantés à la même époque en 1971. Quant à la variété coratine elle est obtenue par greffage réalisé en 1974 sur oliviers chemlali plantés en 1965. Les distances de plantation sont de 6 x 6 m pour les variétés chemlali et picholine, 6 x 4 m pour la oueslati et 8 x 4 m pour la coratine.

Par la suite et dans le but de compléter cette étude, nous avons procédé au mois de mai 1976, au greffage de 9 variétés à olives de table et à huile sur des porte greffes chemlali plantés en 1971 avec des écartements de 6 x6m. Mais quelle que soit la variété, le dispositif n'est pas statistique. Le nombre d'arbres mis à l'essai correspond à 2 blocs de 66 arbres pour la picholine et seulement 1 bloc de 66 arbres pour toutes les autres variétés.

Tous ces oliviers sont irrigués à la raie suivant le même régime et reçoivent une dose d'eau équivalente à un taux de rationnement de 0.4 évaporation bac classe A2 soit au total une quantité de 400 mm apportés de Février à Octobre.

RESULTATS :

- Comportement des variétés oueslati picholine et coratine :

Les oliviers oueslati et picholine plantés en 1971 sont entrés en production en 1975 à l'âge de cinq ans en même temps que la chemlali. Quant à la vériété coratine, obtenue par greffage réalisé en 1974, sur oliviers chemlali âgés de 10 ans, elle a commencé à produire en 1976.

Les rendements obtenus au cours des 14 dernières années (1980 - 1993) et exprimés en tonnes d'olives par hectare sont présentés sur le tableau 4.

Il en résulte que les trois variétés donnent jusqu'en 1987, sous l'effet du phénomène de l'alternance de production, de bonnes récoltes en années paires (1980 - 82 - 84 - 86) atteingnant jusqu'à 11 tonnes d'olives par hectare et de faibles récoltes en années impaires (1981 - 83 - 85 - 87) ne dépassant pas les deux tonnes par hectare.

Par ailleurs on remarque sur le même tableau que les rendements obtenus en 1988, considérée comme une année de bonne production pour la plupart des variétés, subissent une diminution notable, ce qui est dû à la taille sévère des arbres réalisée au début de 1988. Cette taille a de plus rompu le cycle d'alternance suivi par les arbres depuis leur entrée en production, ce qui a donné en 1989 et 1990 des rendements variables d'une variété à l'autre.

D'autre part on observe sur le même tableau que le rendement annuel moyen pour la période considérée (1980 - 1993) varie très peu d'une variété à l'autre notamment pour les variétés chemlali, coratine, picholine, malgré les variations des rendements d'une année à l'autre et malgré les différences dans l'âge des arbres et la densité de plantation.

Pour la variété oueslati on note une diminution du rendement moyen de l'ordre de 40 % par rapport aux autres variétés, due probablement à l'installation, en 1984, sur la parcelle oueslati d'un essai de systèmes d'irrigation économiseurs d'eau (goutte à goutte, tuyau poreux, jarres enterrées).

- Comportement des variétés greffées sur chemlali.

Les variétés obtenues par greffage réalisé en 1976 sur le porte-greffe chemlali sont entrées en production en 1980.

- Comportement de la variété Meski

La Meski qui constitue la meilleure variété tunisienne à olives de table est entrée pendant les premières années de production (1980 - 1984) dans le même cycle d'alternance que la variété chemlali témoin. Mais par la suite, on remarque que cette variété rompt son cycle d'alternance en donnant des récoltes moyennes en 1985 et 1986 et de très bonnes récoltes en 1987 (11,8 T/ha) en 1989 (13,2 T/ha et des récoltes presque nulles en 1988 et 1990. La récolte de 1991 qui s'annonçait très bonne a été compromise par la chute de grêle survenue le 29 octobre 1991 sur la station et les rendements obtenus sont de l'ordre de 12.5 T/ha pour les oliviers récoltés avant la chute de grèle et seulement 3.6 T/ha pour les oliviers récoltés après la grèle, ce qui correspond à une diminution des rendements de l'ordre de 70%. Mais malgré ces variations de la production d'une année à l'autre, on constate que la Meski donne un rendement annuel moyen de l'ordre de 5,6 tonnes d'olives par hectare, dépassant ainsi le rendement de la chemlali témoin qui est seulement de 4,6 T/ha.

- Comportement de la variété Manzanille :

Cette variété d'origine espagnole à olives de table s'est comportée jusqu'en 1987 presque identiquement que la chemlali témoin en donnant des rendements annuels presque équivalents, élevés en années paires jusqu'à 10 tonnes d'olives par hectare et faibles en années impaires. Mais en 1988, année prévue de bonne production, le rendement a baissé à 2,1 tonnes d'olives/ha suite à la taille sévère des arbres, ce qui a rompu le cycle d'alternance et entrainé en 1989 une très bonne récolte de 15,1 T/ha. En 1990 la production a été presque nulle et en 1991 le rendement obtenu n'a pas dépassé les 6,5 T/ha, suite aux dégats provoqués par la grèle du 29 octobre 1991 qui a entrainé la chute d'au moins 50 % des olives. La variété Manzanille subit ainsi fortement le phénomène de l'alternance de production et a donné au cours des 12 denières années (1980 - 1991) un rendement annuel moyen relativement élevé de 5,4 T/ha et presque équivalent à celui de la variété Meski.

- Comportement de la variété Marsaline :

Cette variété locale à olives de table et à port étalé a donné de 1980 à 1983 des rendements faibles de l'ordre de 2 T/ha à cause de son développement faible et de sa formation lente après le greffage. Mais à partir de 1984, elle a commencé à donner des rendements acceptables en années de bonne production, atteignant 10 T/ha en 1989. En 1990, sous l'effet du phénomène de l'alternance, elle a donné un rendement inférieur à une tonne par hectare. En 1991, récoltée après la chute de grèle, elle a donné un rendemnt moyen de 6,3 T/ha. Son rendement annuel moyen au cours des 12 dernières années (1980 - 1991) est de l'ordre de 3,6 tonnes d'olives par hectare.

- Comportement de la variété Lucques :

Cette variété d'origine française à olives de table ayant un développement végétatif important donne en années de bonne production des rendements moyens de l'ordre de 4 à 5 T/ha, sauf en 1984 où le rendement atteint 8,2 T/ha. De plus cette variété subit fortement le phénomène de l'alternance et donne un rendement annuel moyen de l'ordre de 3,6 T/ha.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus dans les essais menés sur oliviers montrent que la conduite des arbres à forte densité et l'irrigation à l'eau saumâtre semblent d'une part avoir un effet bénéfique sur l'établissement de jeunes plantations homogènes dans leur développement avec une mise à fruits rapide et d'autre part exercer un effet favorable sur la biologie des arbres qui répondent par une augmentation notable de leur rendement qui a atteint en moyenne cinq tonnes d'olives par hectare et par an soit environ 10 fois le rendement moyen obtenu en sec.

En outre il a été enregistré que les oliviers étudiés ne valorisent pas des doses d'eau élevées. En effet les rendements cumulés au cours de la période 1971. 1990 dans l'essai doses et régimes d'irrigation à la raie et de 1975 à 1990 dans l'essai doses d'irrigation au goutte à goutte varient très peu lorsque les apports d'eau annuels passent respectivement de 300 à 800 mm et de 200 à 400 mm/an.

Par ailleurs, l'irrigation à l'eau saumâtre ne semble pas agir sur le phénomène de l'alternance chez l'olivier et contrairement à ce qu'on aurait pu attendre, elle n'a fait que l'accentuer. En effet, il a été enregistré chez toutes ces variétés testées une fluctuation importante de la production d'une année à l'autre.

En résumé l'olivier qui était considéré essentiellement comme une culture extensive, bien adaptée aux conditions difficiles, peut être conduit en culture intensive et valoriser des eaux de mauvaises qualités.

Tableau 4 : Rendements annuels en tonnes d'olives/ha pour quelques variétés d'oliviers en comparaison avec la variété chemlali témoin plantation 1971 - Greffage 1976 densité 278 pieds/ha 6 x 6 m

Variété Récolte	Manzanille	Meski	Coratine	Chemlali	Soury	Picholine	Lucque	Marsaline	Zalmati	Chemchali	Coroneiki	Kalamata	Moyenne annuelle	Moyenne Bisannuelle
Novembre														
1980	7,3	4,6	10,8	8,7	1,2	7,4	5,6	2,2	4,2	4,5	0,6	0,7	4,3	2,5
1981	0,3	1,1	1,1	0,1	4,0	0,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	
1982	9,1	6,2	11,0	8,0	0,4	7,5	4,0	2,5	3,4	2,2	4,0	5,1	5,4	3,5
1983	1,3	1,6	1,2	1,8	4,4	0,0	0,6	0,7	0,2	4,5	2,8	0,4	1,6	
1984	10,7	9,0	9,8	11,0	1,1	10,3	8,2	7,0	8,5	0,0	6,2	4,9	7,1	4,6
1985	2,1	4,6	0,5	0,2	7,6	0,1	0,4	0,9	0,5	7,0	1,5	0,0	2,1	
1986	8,7	3,3	5,5	7,3	0,7	7,2	5,5	5,5	7,6	1,4	4,9	5,0	5,2	4,4
1987	1,0	11,8	1,8	1,4	10,4	0,0	3,6	2,2	1,1	5,9	1,6	1,3	3,6	
1988	2,1	0,0	0,3	4,2	0,0	4,5	0,3	2,0	0,0	0,0	2,2	0,0	1,5	5,1
1989	15,1	13,2	7,3	6,1	12,7	0,8	4,9	10,0	11,1	9,6	4,2	10,2	8,7	
1990	0,0	0,0	2,9	2,5	0,0	5,2	5,0	0,8	0,0	0,0	0,6	0,0	1,4	2,0 grêle
1991 Grêle	5,8	3,6	2,7	0,9	3,7	0,4	0,5	6,3	3,1	3,7	0,9	0,6	2,7	
1992	3,2	1,2	4,8	5,4	1,4	7,7	9,2	0,9	0,0	0,1	6,6	3,9	3,7	4,7
1993	12,7	4,9	5,1	1,9	5,3	1,5	3,2	9,3	9,3	7,8	2,2	5,1	5,7	
Total	79,4	65,1	64,8	59,5	52,9	52,6	51,5	50,4	49,1	46,8	38,2	37,3	53,6	3,8
Moyenne	5,6	4,7	4,6	4,3	3,8	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	2,7	2,7	46,3	3,8

II - 2 - TRAVAUX ENTREPRIS SUR GRENADIERS :

Comme l'olivier, le grenadier a été également choisi et implanté dans notre station expérimentale de Ksar Gheriss où il a fait l'objet d'essais dont le but principal consiste à étudier le comportement de cet arbre en fonction de la densité de plantation et en fonction des doses d'eau d'irrigation qui lui sont apportées.

Trois densités de plantation sont utilisées :

- 416 pieds/ha correspondant à des écartements de 6 x 4 m
- 625 pieds/ha correspondant à des écartements de 4 x 4 m
- 1666 pieds/ha correspondant à des écartemnts de 3 x 2 m.

Deux traitements doses d'irrigation sont appliquées :

D1 et D2 correspondant respectivement à un taux de rationnement de 0,4 E et 0,8 E, E étant l'évaporation en mm du bac classe A2. Les doses d'eau apportées annuellement par cycle végétatif de Février à Septembre sont de l'ordre de 300 mm pour D1 et 600 m pour D2.

Ces essais ont porté sur des grenadiers de la variété Gabès, mis en place à l'état de plants racinés en Janvier 1970 pour les densités 416 et 625 arbres/ha et une année plus tard pour la densité 1666.

Au début, il y a une remarque très importante à faire au sujet de la qualité des fruits. Il s'agit en effet de la présence dès la 1° année de récolte d'un certain pourcentage de fruits déchets, dus à plusieurs facteurs, notamment à une attaque de vers de fruits, une larve d'Ectomyélois ceratoniae qui pénètrent à l'intérieur des fruits et provoquent leur pourriture.

Les dégats provoqués par ce ravageur très nuisible, en raison de son extrême polyphagie, et qui sont de l'ordre de 10 à 15 % de la production totale pendant les premières récoltes, n'ont pas cessé d'augmenter au cours de ces dernières années pour atteindre jusqu'à 80 % de la récolte et ce malgré les traitements insecticides effectués. Par conséquent les rendements présentés seront donnés suivant la qualité des fruits en rendement de fruits sains, de fruits déchets et dont la somme donne le rendement total.

RESULTATS ET DISCUSSIONS :

Les résultats obtenus au cours des 20 dernières années (1971 - 1990) montrent que les grenadiers entrent rapidement en production à partir de la 2ème année et donnent par la suite des rendements qui évoluent dans le temps, plus ou moins rapidement en fonction de la densité de plantation, de l'année, de la dose d'irrigation et du niveau d'attaque de l'E. ceratoniae, comme indiqué sur les graphiques 6, 7 et 8.

INFLUENCE DE LA DENSITE DE PLANTATION

Les résultats présentés sur le graphique 9 qui donne les rendements au cours des 20 dernières années (1971 - 1990) montrent que c'est la densité moyenne de 625 arbres/ha qui produit le meilleur rendement cumulé par rapport à la densité faible de 416 arbres/ha qui semble insuffisante et par rapport à la densité de 1666 arbres/ha qui semble excessive. Par ailleurs on remarque sur les graphiques 10, que la production cumulée en fruits déchets est d'autant plus élevée que la densité de plantation est plus importante. Par contre pour les fruits sains c'est la densité moyenne de 625 arbres/ha qui donne la meilleure production.

INFLUENCE DES DOSES D'EAU D'IRRIGATION :

On remarque que malgré l'augmentation des doses d'eau du simple au double (D1 - 0,4 E et D2 - 0,8 E), le grenadier n'a pas réagi de façon assez nette à cette augmentation des apports d'eau, les différences obervées n'étant pas statistiquement significatives. De plus les rendements annuels sont suivant les années, tantôt plus élevés pour la dose forte D2 tantôt pour la dose faible D1. Mais on observe toutefois une légère augmentation des rendements cumulés durant la même période 1971 - 1990, en faveur de la dose double par rapport à la dose simple, de l'ordre de 5 % pour la densité faible de 416 arbres/ha et de l'ordre de 10 % pour les deux autres densités 625 et 1666 ar/ha fig.11.

CONCLUSIONS :

Il ressort des résultats obtenus que la grenadier est un arbre assez résistant à la salure, son développement étant tout à fait normal avec une eau d'irrigation titrant 4 g de résidu sec par litre pendant une période qui a déjà dépassé les 20 ans.

Le grenadier planté à 6 x 4 m ou 4 x 4 m entre en production assez tôt, soit deux ans après la plantation avec un rendement moyen d'une tonne par ha.

La production évolue par la suite au cours du temps en dents de scie, mais l'augmentation est toujours plus importante que la diminution ce qui donne une évolution croissante au cours du temps. Le grenadier subit ainsi une certaine alternance de production mais beaucoup moins prononcée que celle observée chez d'autres arbres tel que l'olivier.

La production du grenadier varie peu lorsqu'on augmente les doses d'eau d'irrigation. Les besoins en eau du grenadier sont de l'ordre de 300 à 400 mm par campagne à apporter de Février à Septembre avec un tour d'eau moyen de l'ordre de 4 semaines au printemps et 3 semaines en été.

La production totale des fruits augmente avec la densité de plantation. En effet les rendements sont plus élevés pour les densités 1666 et 625 arbres/ha par rapport à ceux obtenus avec la densité relativement faible de 416 arbres/ha.

De même la production de fruits déchets dus aux attaques de la larve d'Ectomyeloïs ceratoniae est favorisée par la densité de plantation. En effet la densité 1666 ar/ha donne des rendements en déchets plus élevés que les densités 625 et 416 ar/ha.

Les rendements maximums obtenus jusqu'à présent sont de l'ordre de 14 T/ha pour la densité 1666 (campagne 1976) de 13 T/ha pour la densité 625 (récolte 1976) et 11 T/ha pour la densité 416 pieds/ha (récolte de 1985).

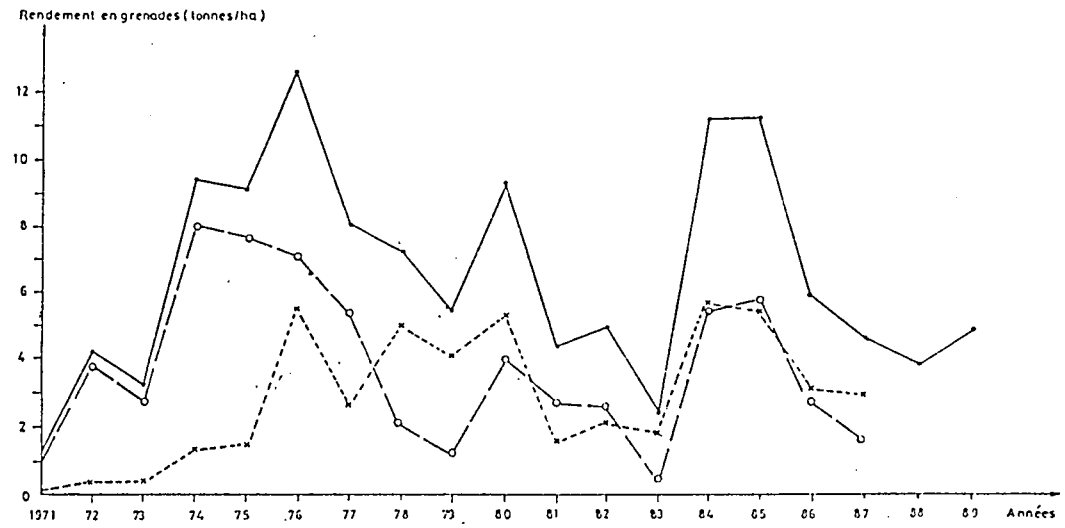


Fig: 6 - RENDEMENTS ANNUELS DES GRENADIERS PLANTES A 4 × 4 m (625 pieds / ha)
EN FRUITS SAINS (o— — —o), EN FRUITS DECHETS (·····›) ET PRODUCTION TOTALE (•————)

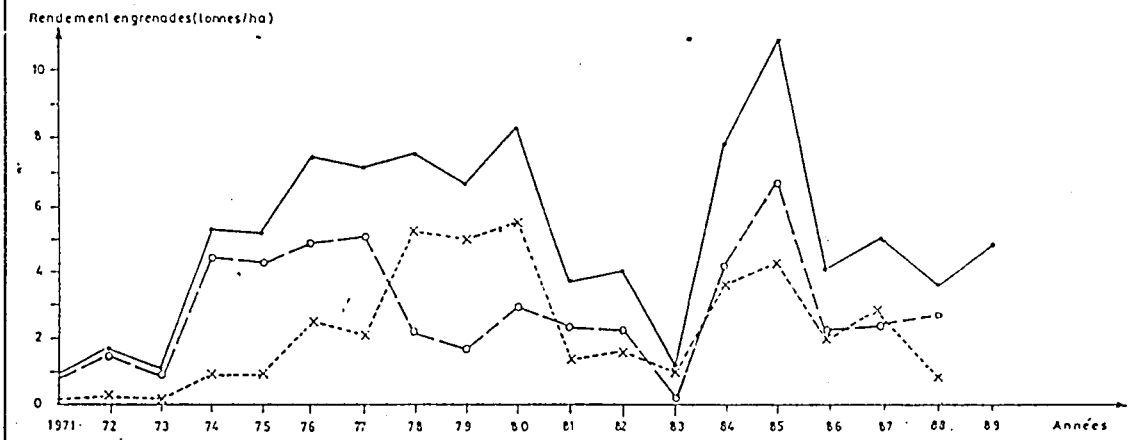
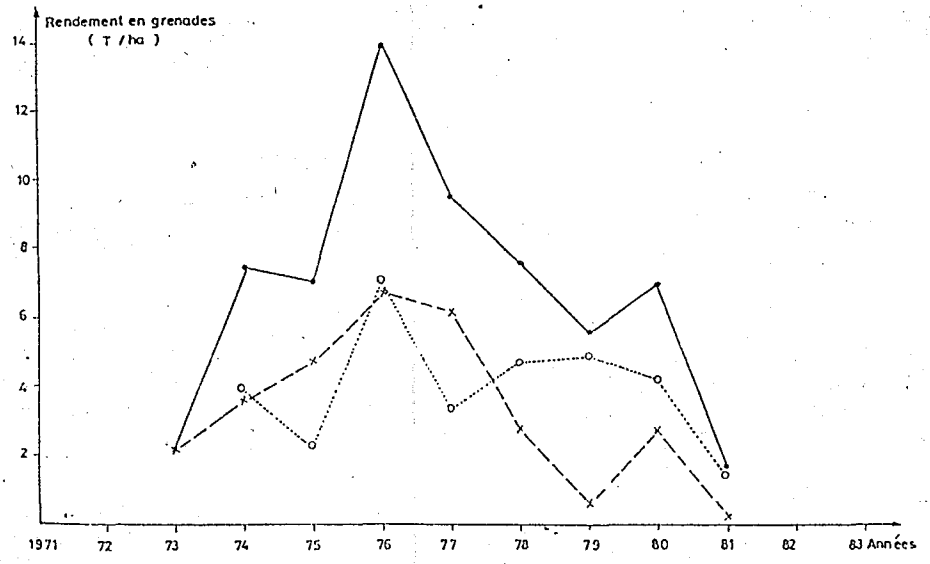
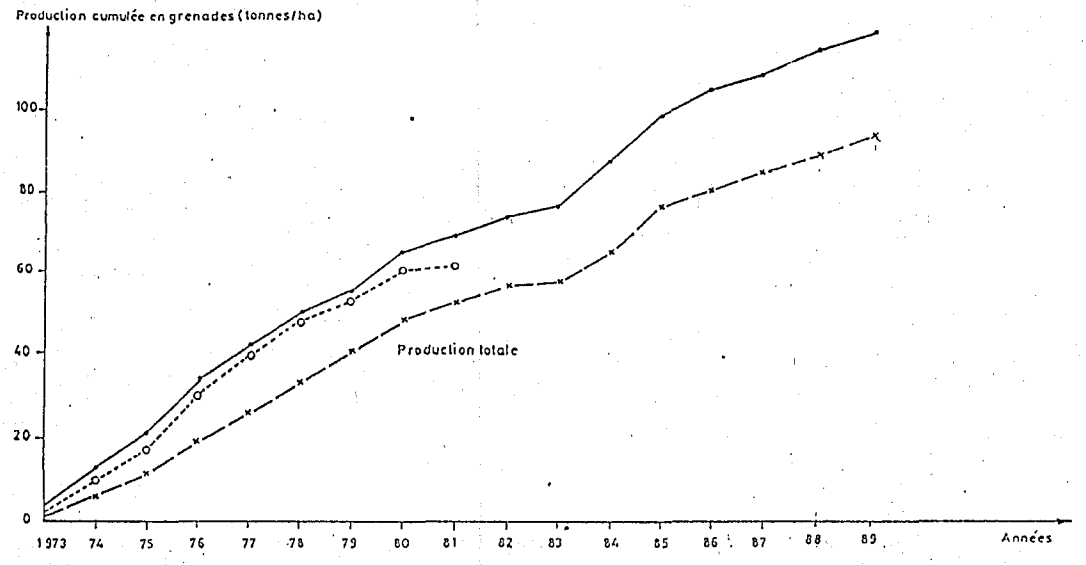


Fig: 7 - RENDEMENTS ANNUELS DES GRENADIERS PLANTES A 6 × 4 m (416 pieds / ha)
EN FRUITS SAINS (o— — —o), EN FRUITS DECHETS (x------x) ET PRODUCTION TOTALE (•————)



- Fig: 8 - RENDEMENTS ANNUELS DE GRENADIERS PLANTÉS A 3 x 2 m (1666 pieds/ha) EN FRUITS SAINS («- - - - -»); EN FRUITS DECHETS (o.....o) ET PRODUCTION TOTALE (•————•)



- Fig: 9 - PRODUCTION CUMULEE DES GRENADIERS EN FONCTION DE LA DENSITE DE PLANTATION 416 pieds/ha (×— — — ×), 625 pieds/ha (•————•) et 1666 pieds/ha (o----------o)

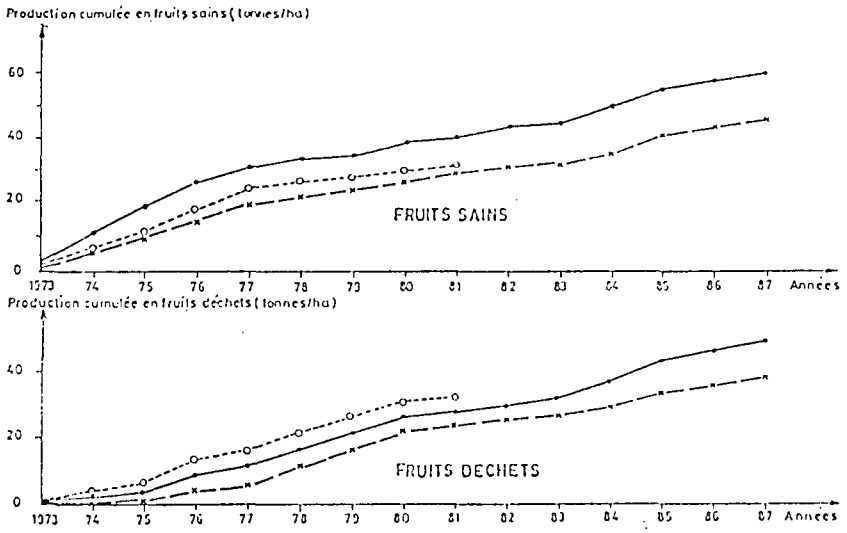


Fig: 10 PRODUCTION CUMULEE DES GRENADIERS EN FRUITS SAINS ET DECHETS EN FONCTION DE LA DENSITE DE PLANTATION 416 pieds/ha (*——*), 625 pieds/ha (•——•) et 1666 pieds/ha (o------o)

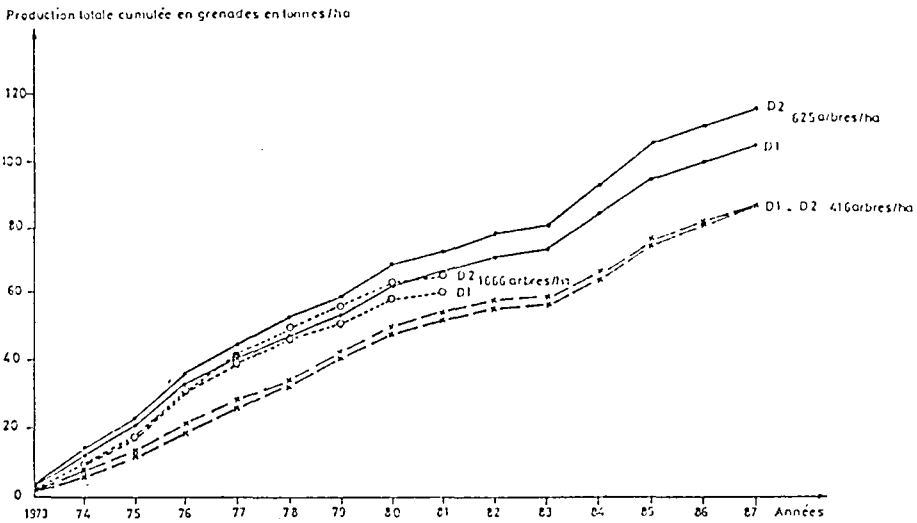


Fig: 11 INFLUENCE DES DOSES D'EAU D'IRRIGATION D1. 350 mm/an ET D 2 SUR LA PRODUCTION CUMULEE DU GRENADIER POUR LES TROIS DENSITES DE PLANTATION
416 arbres/ha (*——*), 625 arbres/ha (•——•) et 1666 arbres/ha (o----------o)

II - 3 - ESSAI ENTREPRIS SUR PISTACHIERS

Le pistachier est également introduit et implanté à la station de Ksar Gheriss. L'essai a porté sur des plants greffés de la variété El guettar, mis en place en 1965 avec des écartements de 6x6m, correspondant à une densité de 278 pieds par hectare.

Cet essai a pour objet l'étude de l'incidence de trois doses d'eau saumâtre sur le comportement et la production du pistachier variété El guettar. Les doses d'irrigation appliquées sont calculées d'après un taux de rationnement correspondant à 0,4 E pour D1, 0,6 E pour D2 et 0,8 E pour D3, E étant l'évaporation en mm du bac classe A 2. Les quantités d'eau apportées annuellement par cycle végétatif de Février à Juillet sont de l'ordre de 260 mm pour D1, 360 mm pour D2 et 460 mm pour D3.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les pistachiers irrigués sont entrés en production à l'âge de 7 ans, la 1ère récolte ayant eu lieu en 1972 et les rendements obtenus au cours des 19 dernières années 1972 - 1990 et exprimés en quintaux/ha de fruits frais, sains, déchets et production totale sont présentés sur le graphique 12.

On remarque sur ce graphique que pendant les 6 premières années de production 1972 - 1977, les rendements totaux annuels moyens ont évolué en augmentant légèrement pour atteindre le niveau de cinq quintaux/ha en 1973 - 74 - 75, diminuent en 1976 à un quintal/ha et sont presque nuls en 1977. Mais à partir de 1978, on observe que ces mêmes rendements commencent à augmenter fortement pour atteindre en 1981 le rendement maximum de 30 qx/ha de fruits frais, les arbres ayant atteint l'âge de 15 ans. De plus on constate pendant la 2ème période de 6 ans (1978 - 1983) que le pistachier malgré les apports d'eau d'irrigation entre dans une phase d'alternance régulière de production en donnant de bonnes récoltes en années impaires (1979 - 81 - 1983) et de faibles récoltes en années paires (1978 - 80 - 1982). Après cette succession de faibles et de bonnes récoltes on remarque pendant la période de 6 ans 1984 - 1989 que les rendements entrent en 1984 et jusqu'en 1988 dans une phase de décroissance lente mais régulière d'une année à l'autre pour augmenter en 1989 et atteindre le niveau de 1984.

PRODUCTION DE FRUITS DECHETS

D'autre part on remarque sur le même graphique que le pistachier produit chaque année une certaine quantité de fruits déchets dûs à plusieurs facteurs, tels que la non fécondation ou l'avortement, les attaques par les parasites tels que le mégastigmus ou l'eurytoma. Au début cette proportion était importante et atteignait des pourcentages de l'ordre de 40 à 50 % pendant les 6 premières années 1972 - 1977. Mais à partir de 1978 et suite à l'augmentation de la production totale, la proportion en fruits déchets baisse et atteint des valeurs faibles de l'ordre de 10 % en années de bonnes productions et de 20 % en années de faibles récoltes.

INFLUENCE DES DOSES D'EAU D'IRRIGATION

On constate sur le graphique 13 qui donne l'évolution annuelle des rendements cumulés en fonction des apports d'eau que le pistachier n'a pas réagi de façon assez nette aux traitements, les différences statistiques observées n'étant pas significatives. Mais on observe toutefois une légère augmentation des rendements cumulés de l'ordre de 5 % en faveur de la dose forte D3 - 0,8 E par rapport aux deux autres traitements D1 - 0,4 E et D2 - 0,6 E.

PRODUCTION EN FRUITS SECS

La production de fruits secs, écalés commercialisables qui représentent environ 40 % du poids des fruits frais et sains est réprésentée sur le graphique 14. Il en résulte que les rendements annuels obtenus au cours des 6 premières années de production (1972 - 1977) sont restés faibles et ont évolué entre quelques dizaines de kg/ha en 1972 - 1976 et 1977 et 100 kg/ha en 1973 - 1974 et 1975.

Ce n'est qu'à partir de 1978, lorsque les arbres ont atteint l'âge de 13 ans que les rendements ont commencé à augmenter à 250 kg/ha en 1978 et 750 kg/ha en 1979 pour atteindre en 1981, le rendement le plus élevé de 1100 kg/ha. Mais on remarque qu'après les bonnes récoltes de 1979 et de 1981, on obtient des rendements faibles en 1980 (200 kg/ha) et 1982 (75 kg/ha) ce qui est dû essentiellement à l'influence du phénomène de l'alternance de production. Par la suite et après les récoltes moyennes obtenues en 1983 et 1984 et qui sont de l'ordre de 500 kg/ha, la production, entre dans une phase de diminution lente mais régulière d'une année à l'autre, pendant laquelle les rendements passent à 280 kg/ha en 1985 et à seulement 100 kg/ha en 1986 - 1987 et 1988 pour augmenter de nouveau à 500 kg/ha en 1989 puis diminuer à 75 kg/ha en 1990 et s'annuler en 1991.

COMPORTEMENT DE LA VARIETE MATEUR

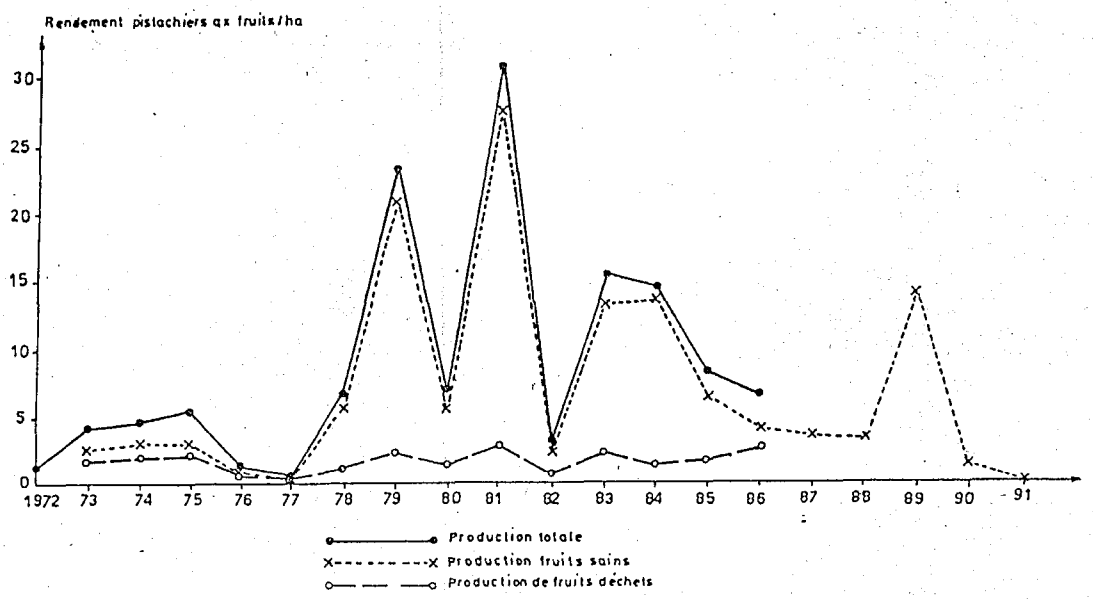
Les pistachiers de la variété "Mateur" sont obtenus par greffage réalisé en 1973 et 1974 sur de jeunes plants racinés plantés en 1971 avec des écartements de 6 x 3 m, correspondant à une densité de 555 pieds par hectare.

Ces pistachiers sont entrés en production en 1979, 4 à 5 ans après le greffage et les rendements annuels en fruits secs commercialisables obtenus sont présentés sur le même graphique 14 en comparaison avec la variété El guettar.

Il en résulte que ces pistachiers sont soumis dès leur entrée en production à un phénomène d'alternance de production irrégulière en donnant des rendements variables d'une année à l'autre. Mais on remarque, pour la période considérée 1979 -1990, que pour chaque triennie, on a une année de bonne récolte supérieure à 500 kg/ha de fruits secs (1981 - 83 - 85 - 89) de faible récolte inférieure à 200 kg/ha (1980 - 82 - 87 -90) et de récolte moyenne comprise entre 200 et 500 kg/ha (1979 - 84 - 86 - 88) ce qui donne une bonne récolte tous les trois ans et un rendement annuel moyen de l'ordre de 450 kg de fruits secs/ha. Par ailleurs la variété Mateur donne des fruits assez gros, ayant un poids moyen unitaire de 1 g à l'état sec, de calibre régulier, avec un pourcentage de fruits déhiscents élevé de l'ordre de 90 %.

Fig. 12 et 13 : Evolution de la production du pistachier Var. El Guettar - station Ksar Gheriss

Fig: 12 EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU PISTACHIER VAR. EL GUETTAR_STATION KSAR GHERISS



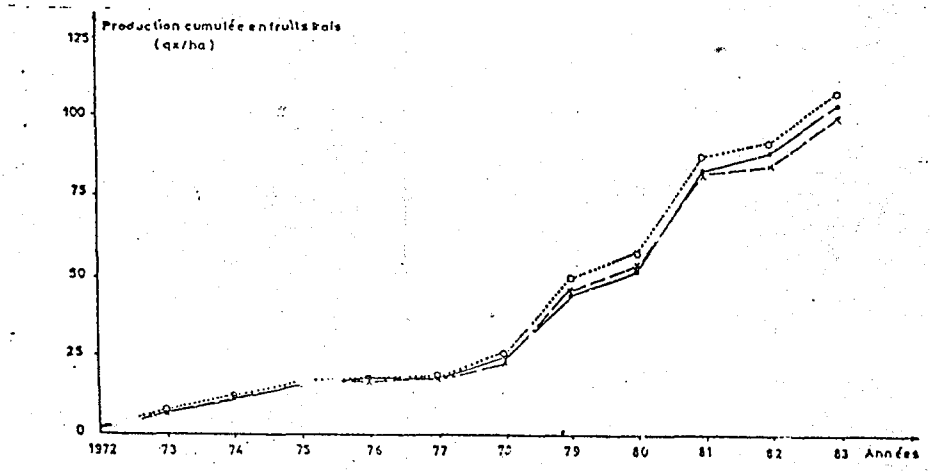
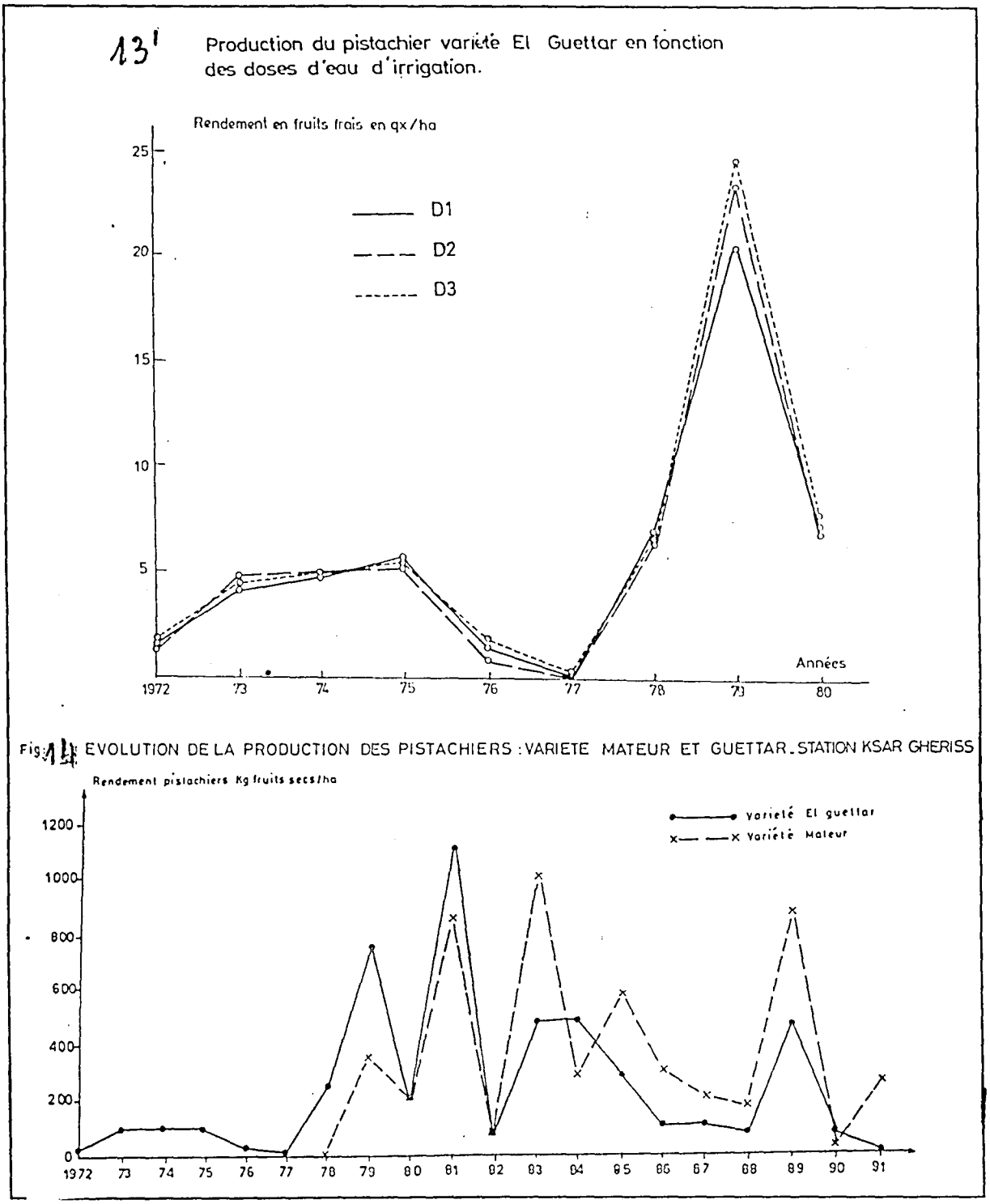


Fig: 13 - EVOLUTION ANNUELLE DES RENDEMENTS CUMULÉS DES PISTACHIERS (*VARIETÉ EL GUETTAR*) EN FONCTION DES DOSES D'EAU D'IRRIGATION D1 .0,4 E (———) D2. 0,6 E (x— — — —x) ET D3 0,8 E (o.....o)

Fig. 13 et 14 : Evolution de la production des pistachiers variété Mateur et Guettar - station Ksar Gheriss



CONCLUSIONS GENERALES

Ces conclusions sont aussi bien valables pour l'olivier, le grenadier que pour le pistachier.

En effet l'utilisation de l'irrigation à l'eau saumâtre dans nos essais a eu un effet bénéfique sur l'établissement de jeunes plantations, avec de jeunes arbres homogènes dans leur développement ce qui a permis d'obtenir une entrée en production rapide, dès la 2ème ou la 3ème année pour le grenadier, la 5ème ou la 6ème année pour l'olivier et la 7ème année pour le pistachier et ce suivant la densité de plantation et le mode de conduite des arbres.

Par ailleurs, l'irrigation exerce un effet quantitatif favorable sur la biologie de ces arbres en augmentant leur production. Cependant l'olivier, tout comme le grenadier et le pistachier ne valorisent pas des doses d'eau très élevées. En effet les rendements cumulés au cours de la période 1971 - 1990 varient très peu lorsque les apports d'eau annuels passent du simple au double.

Il s'avère que ces espèces sont en mesure de valoriser, au niveau de la productivité, des apports d'eau limités de l'ordre de 300 à 400 mm/an mais réguliers. Ceci suppose, la possibilité de l'utilisation du mode d'irrigation au goutte à goutte qui a donné de très bons résultats au niveau de l'augmentation de la production et au niveau de l'économie de l'eau et de la main d'œuvre. Ce système permet ainsi un développement de nouvelles surfaces à l'irrigation y compris dans les régions à faibles ressources en eau.

D'autre part, les trois espèces paraissent assez tolérantes vis à vis de la salinité, pouvant tolérer une eau d'irrigation chargée en sels jusqu'à 4 g de résidu sec par litre et même plus, ce qui permet d'envisager la mise à l'irrigation de zones où seules des eaux saumâtres sont disponibles, notamment en Tunisie Centrale et côtière et dans le Sud.

Cependant l'irrigation à l'eau saumâtre n'a pas suffi à contrôler le phénomène de l'alternance surtout chez l'olivier et le pistachier et à un degré moindre pour le grenadier. En effet on remarque, avec l'application de l'irrigation une fluctuation de la production d'une année à l'autre ce qui s'est traduit par une succession régulière d'années de bonnes et de faibles récoltes et ceci quelles que soient les conditions agroclimatiques.

En résumé, il ressort de cette étude que l'olivier, le grenadier et le pistachier constituent des spéculations très importantes à entreprendre dans les zones arides pour valoriser des sols pauvres et des eaux de qualité médiocre à condition de résoudre certains problèmes tels que celui du parasitisme et notamment celui de l'Ectomyeloïs dans le cas du grenadier.

CNDA 9165

EVALUTION DE QUELQUES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES CAPSULES DES GRAINES ET DES FIBRES DE QUATRE VARIETES DE COTON AU COURS DE LEUR DEVELOPPEMENT

M. ACHOURI*, M.N. REJB* ET E. BIZID**

(*) CRGR

(**) Faculté des sciences de Tunis

RESUME :

Dans le but de contribuer au développement de la culture cotonnière à grande échelle, nous avons entrepris un essai variétal à la station expérimentale de Cherfech à la basse vallée de la Medjerdah. L'essai consiste à comparer quatre variétés d'origines différentes.

Trois variétés (deux Brésiliennes et une américaine) sont introduites pour la première fois en Tunisie. Alors que la quatrième est une variété largement cultivée en Tunisie.

L'évolution des principales caractéristiques physiques des capsules (longueur, diamètre, et poids) des graines et des fibres (longueur, poids par capsule et par loge) de toutes les variétés a été suivie en fonction de la date de floraison, de l'âge et de la position des capsules sur la plante.

La phase principale du développement des capsules et de leur contenu s'étend de l'anthèse jusqu'au 30ème jour. Par la suite, l'évolution est plus lente. Au delà de cette date, tous les paramètres considérés ont pratiquement acquis leur développement maximal.

Cette étude devrait améliorer nos connaissances sur la physiologie de ces variétés afin de définir certains critères de sélection permettant d'améliorer les qualités des fibres et des graines.

INTRODUCTION

Dans les pays arides comme la Tunisie, l'eau constitue l'un des facteurs limitants de la production agricole. En présence d'une élévation de la température et d'une diminution excessive de l'humidité de l'air, les cultures donnent le plus souvent des rendements bas, voire nuls dans les cas critiques.

En Tunisie, la salinité des eaux et des sols est une autre contrainte majeure qui s'ajoute au déficit hydrique. Afin de remédier à cette situation et prévoir les risques grandissant de cette salinisation, plusieurs travaux ont été entrepris et se poursuivent dans ce sens. Des règles d'utilisation de ces eaux salées ont été élaborées (CRUESI, 1970) et ne cessent d'être améliorées. Dans de telles conditions, il semble impératif de sélectionner un matériel végétal amélioré, plus adapté aux facteurs fluctuants du climat tels que la température et la sécheresse. Notre contribution s'est axée sur la culture cotonnière en milieu salée. En effet, le secteur de la filature en Tunisie, connaît actuellement des difficultés d'approvisionnement considérables et par conséquent ne dispose pas jusqu'à présent d'un programme national de multiplication de semences, ni de production capable de répondre au besoin du pays. La culture de coton a besoin alors d'être développée à grande échelle. Par ailleurs, le coton originaire des régions tropicales, est considéré comme une glycophyte capable de développer une résistance assez importante vis à vis des fluctuations défavorables de l'environnement (FLOWERS et al, 1977; AYADI et MONNIER 1980; DURANT et al, 1989; VIRGONA et BARLOW, 1991).

La présente étude consiste à compter le comportement de quatre variétés de coton cultivées dans la basse vallée de la Medjerdha située dans l'étage bioclimatique semi-aride.

MATERIEL ET METHODES

a - Matériel végétal

Quatre variétés de coton de différentes origines sont testées. Trois variétés (deux Brésiliennes et une américaine) sont introduites pour la première fois en Tunisie. Alors que la quatrième est une variété largement cultivée en Tunisie. La nomenclature et l'origine des différentes variétés sont indiquées dans le tableau 1.

	Variétés	Origines
1	Précoce 1	Brésil
2	Acala 1	Brésil
3	Américaine	Amérique
4	Nazalli 84	Turque

Les semences des variétés brésilienne et américaine ont été fournies par le Centre National Brésilien de Recherche sur le coton. Pour la variété Nazalli 84, la semence est obtenue à partir des récoltes précédentes.

b - Conduite des cultures

L'essai est implanté à la station expérimentale de Cherfech située à une altitude de 10,5 m dans le périmètre irrigué de la basse vallée de la Medjerda correspondant à l'étage bioclimatique semi-aride.

Notre essai est mené sur la parcelle "D". Il comprend 12 parcelles élémentaires de 12x24 m chacune. Les 4 variétés sont réparties au hazard suivant les blocs.

L'irrigation se fait avec de l'eau pompée à partir de la Medjerda. La salinité de l'eau est tributaire de la quantité et de la localisation des chutes de pluie sur le bassin versant de l'oued. Au cours de notre expérience, la salure de l'eau mesurée à l'aide d'un conductimètre de type CDM 83, est respectivement de 1,7; 1,6 et 1,8 g/l de résidu sec au début, au milieu et à la fin de la culture.

Une fumure de base d'un engrais binaire est épandue à la surface du sol à raison de :

- 200 kg/ha de super phosphate à 45 %
- 200 kg/ha de sulfate de potasse à 50 %.

Avant le billonnage et le semis, le sol a été traité au treflon (2l/ha) avec un enfouissement immédiat.

L'irrigation a été faite suivant le stade végétatif, les besoins de la culture et les conditions climatiques. Nous avons arrêté l'irrigation au stade d'ouverture des premières capsules.

La levée des plantules était homogène pour toutes les variétés.

c - Caractéristiques des variétés

Toutes les variétés possèdent un port sphérique. Les rameaux de la partie médiane des plants ont une croissance plus importante que ceux de la base . A l'âge adulte, les noeuds sont assez régulièrement répartis sur la tige, les entre-noeuds du sommet du plant étaient plus espacés que ceux de la base . Les deux ou trois premiers noeuds situés au dessus du noeud cotylédonnaire (n) ne donnent généralement pas naissance à une branche. Les bourgeons se dessèchent et tombent. Des deux à trois noeuds suivants émergent des branches végétatives (BV) ou monopodes, à partir desquelles se développent de courts rameaux axillaires . Les branches végétatives sont au nombre de 2 pour toutes les variétés. Les premières branches fructifères vraies (BF1) sont situées au niveau du sixième noeud (n° 6). Au dessus de cette zone, chaque noeud fournira ensuite une branche fructifère, ou sympode .

La floraison commence deux mois et 9 jours après la date de semis, au niveau du premier noeud de la première branche fructifère. Elle se poursuit ensuite, d'une part horizontalement, en direction de l'extrémité de la branche fructifère, d'autre part verticalement en remontant vers l'extrémité du plant.

Quatre positions sont choisies pour le prélèvement des capsules et sont notées : 6_1, 8_1, 10_1, et 12_1 . Autrement dit, nous avons choisi la première capsule qui apparaît sur les branches fructifères situées au niveau du 6ème, 8ème, 10ème, et 12ème noeud pour les 4 variétés étudiées .

d - Paramètres mesurés

Nous avons étudié l'évolution de quelques caractéristiques physiques des capsules, au cours de leur développement depuis l'anthèse jusqu'à leur maturité complète .

* Poids des capsules :

Pour les capsules âgées de 5 à 50 jours après l'anthèse, on sépare le contenu de l'enveloppe, puis on détermine leur poids après avoir déterminé le poids de la capsule entière .

* Longueur et diamètre des capsules :

La longueur et le diamètre des capsules sont suivis en fonction de l'âge des capsules et de leurs positions sur les plants .

* Longueur des fibres :

Pour étudier la longueur des fibres en fonction de l'âge des capsules, on a adopté la méthode de MORRIS (1962) citée par TAHA et BOURELY (1990). Le contenu des loges est traité par 100 ml d'eau bouillante. On agite pendant 5 mn puis on refroidit en ajoutant de l'eau distillée froide. Le coton graine remonte à la surface du liquide; il est recueilli avec une pince et déposé sur la partie convexe d'une boite de pétri. Un jet d'eau distillée facilite l'étalement des fibres autour de la graine. On mesure la longueur des fibres les plus développées depuis leur point d'attache sur la graine jusqu'à leur extrémité libre .

* Production en coton graine et fibre:

La production du coton fibre et graine a été évaluée au stade maturité des plantes qui se manifeste par le dessèchement et l'ouverture des capsules et la sortie des fibres

Les poids des graines et des fibres sont calculés par loge, par capsules et par plantes, alors que le nombre des graines est calculé par plante chez toutes les variétés.

RESULTATS

1-Poids frais des capsules :

L'évolution du poids frais des capsules (Fig1) passe par une phase rapide du 5ème au 30ème jour. Ensuite les capsules atteignent leur poids maximum. A partir du 35ème jour, le poids des capsules subit une chute rapide pour se stabiliser vers la fin du cycle végétatif.

Cette chute importante du poids des capsules est due au dessèchement des graines et des fibres qu'elles renferment, et par conséquent, le poids des capsules diminue par perte d'eau.

On note ici, que pour toutes les variétés, les capsules atteignent leur poids maximum entre le 30ème et 35ème jour, cette augmentation est plus importante chez la variété Acala1.

2 - Longueur et diamètre des capsules :

Pour toutes les variétés, la longueur et le diamètre des capsules (Fig2) augmentent rapidement du 5ème au 30ème jour après l'anthèse. Au delà de cette date, l'augmentation est plus lente. On constate également que l'écart entre la longueur et le diamètre des capsules est pratiquement le même durant le cycle de développement des capsules chez les variétés Nazalli 84 et Américaine, alors que chez Précoce1 et Acala1, les courbes relatives à la croissance des capsules en longueur et en diamètre commencent à s'écarter à partir du 10ème jours après l'anthèse. On note également qu'au delà du 35ème jour, la mesure du diamètre et de la longueur des capsules n'est plus possible, car le dessèchement de ces dernières se produit vers le 40ème jour.

3 - Longueur des fibres et poids de l'enveloppe et du contenu des capsules :

Le poids de l'enveloppe et du contenu des capsules et la longueur des fibres ont été suivis en fonction de l'âge des capsules (Tableau 2) .

Les résultats représentés dans le tableau 2, révèlent que le poids de l'enveloppe des capsules et de leurs contenus augmente rapidement au début, cette augmentation devient plus lente lorsque les capsules atteignent un âge de 30 jours, puis se stabilise à partir du 45ème jour .

Par contre la longueur des fibres varie d'une manière importante, en fonction de lâge des capsules puis elle demeure constante au delà du 30ème jour .

4 - Production en graines :

4/1 - Nombre des graines :

A la maturité des plantes, le nombre des graines par plante (Figure 4) est plus important chez Nazalli 84 et Précoce 1, alors que chez la variété américaine, il est plus faible .

4/2 - Poids des graines :

Le poids du coton grain par loge et par capsule (Figure 5) est plus important chez la variété brésilienne Acala 1 .

L'orsqu'on exprime ce poids par plante, les deux variétés brésiliennes, Précoce 1 et Acala 1, se comportent sensiblement d'une manière similaire, alors que la variété Américaine est la moins productive .

5 - Poids des fibres

Si on considère la production du coton fibre par loge (figure 6), on constate que les variétés tunisienne (Nazalli 84) et brésilienne (Acala 1) se comportent de la même manière et donnent les meilleures productions. Alors que les variétés américaine et brésilienne (Précoce 1) donnent des productions similaires plus basses.

Concernant la production du coton fibre par capsule (figure 6), on constate que la variété Acala 1 représente la meilleure production. Le phénomène s'inverse lorsqu'on exprime cette production par plante et la variété précoce 1 s'avère la plus performante.

CONCLUSION

L'étude des caractéristiques physiques des capsules des 4 variétés de coton, nous a permis de déceler une étape active dans le cycle d'évolution des capsules, marquée par l'augmentation rapide du poids, de la longueur, du diamètre et du contenu des capsules . Cette phase active dans le cycle de développement des capsules comprise entre le $5^{éme}$ et le $30^{éme}$ jour après l'anthèse, correspond ainsi à une phase d'activité physiologique importante des capsules et de leur contenu.

Au delà du $40^{éme}$ jour, les caractéristiques de l'ensemble des paramètres étudiés demeurent pratiquement constantes . Cette période est caractérisée par le dessèchement et l'ouverture des capsules, provoquant une diminution considérable du poids de ces dernières .

D'après ces résultats, il semble que la date de floraison n'a pas d'incidence pratique sur les caractéristiques physiques des capsules .

La production la plus importante en coton grain chez les deux variétés brésiliennes Précoce 1 et Acala 1, pourrait être due à l'avantage que possèdent ces 2 variétés en nombre de loges. En effet, ces variétés brésiliennes possèdent 5 loges par capsules, alors que les 2 autres variétés, Nazalli 84 et Américaine, ne possèdent que 4 loges par capsules.

La production du coton fibre, dans notre expérience, n'est pas liée au nombre de loges par capsules, vu que la variété nazalli 84 a produit plus de coton que la variété brésilienne Précoce 1.

BIBLIOGRAPHIE

AYADI A. et MONNIER A. 1980 : Echangers ioniques cellulaires : Cas des plantes en milieu salé. Rôle particulier des parois cellulaires .

CRUE. SI - PNUDV 1970 : Recherche et formation en matière d'irrigation avec les eaux salées, Rapport technique : 243 p.

DURAND J.L., LEMAIRE G., Gosse G. et CHARTIET M. 1989 : Analyse de la conversion de l'énergie solaire en matière sèche par un peuplement de luzerne (Medicago sativa L.) soumis à un déficit hydrique . Agronomie 9(6) . 529-640 .

FLOWERS T.J., TROKE P.F. et YEO A.R. 1977 : The mechanism of salt tolerance in halophytes Ann. Rev. plant physiol. 28, 89-121 .

TAHAM. G. et BOURELY J. 1990 : Evoluation de quelques caratéristiques physiques des capsules, des graines et des fibres de gossypium barbadense L. au cours de leur développement en Egypte .

Cot. Fib. trop. vol 45. fasc. 4. 295-304 .

VIRGONA J.M et BARLOW W.R. 1991 : Drought stress induces changes in the non structural carbohydrate composition of wheat stems .

Anst. J. plant physiol. 18 (3), 239-247 .

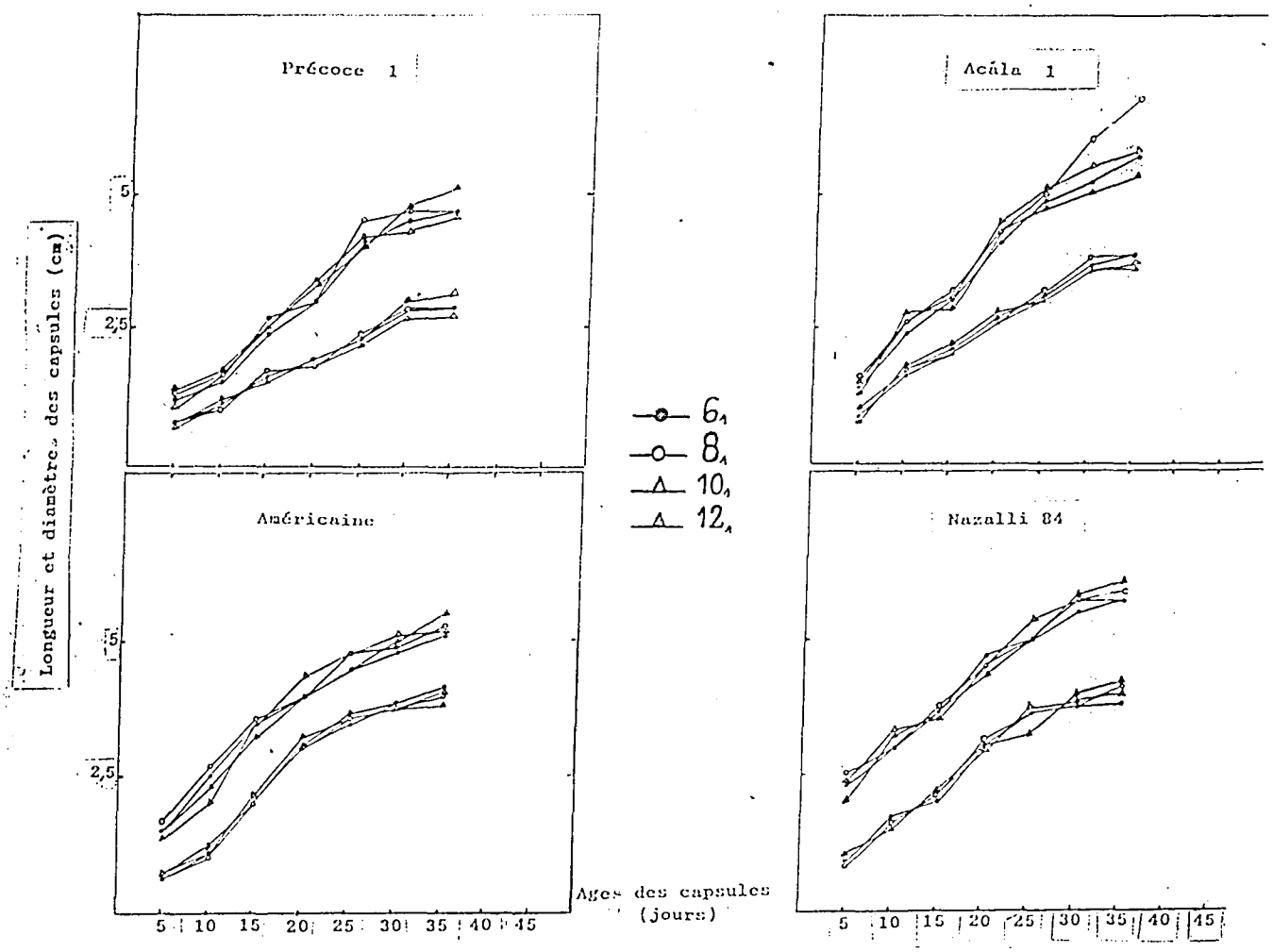


FIGURE 2 : Evolution de la longueur et du diamètre des capsules, en fonction de leur âge et de leur position sur la plante.

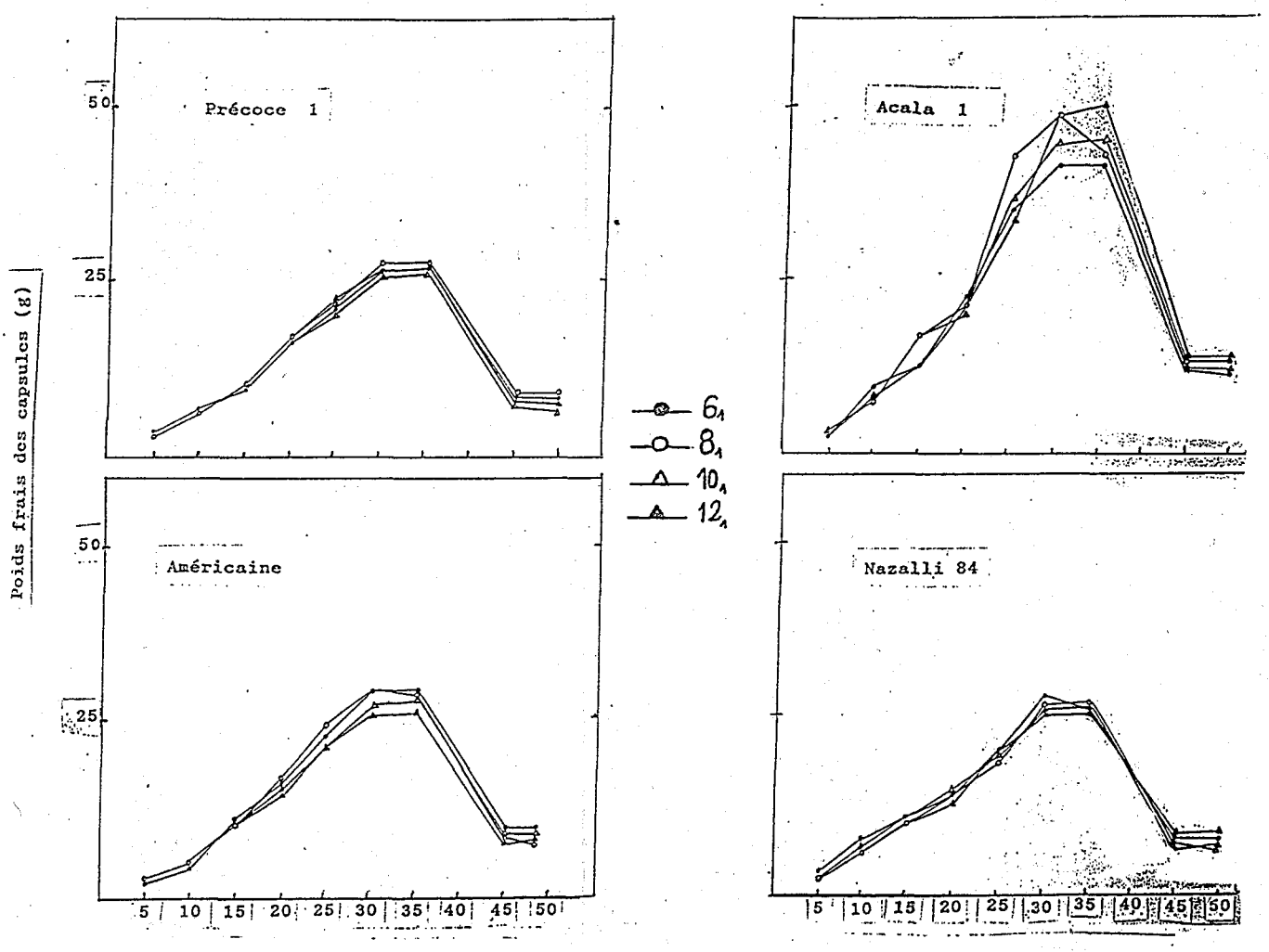


FIGURE 3 : Evolution du poids frais des capsules, en fonction de leur âge et de leur position sur la plante.

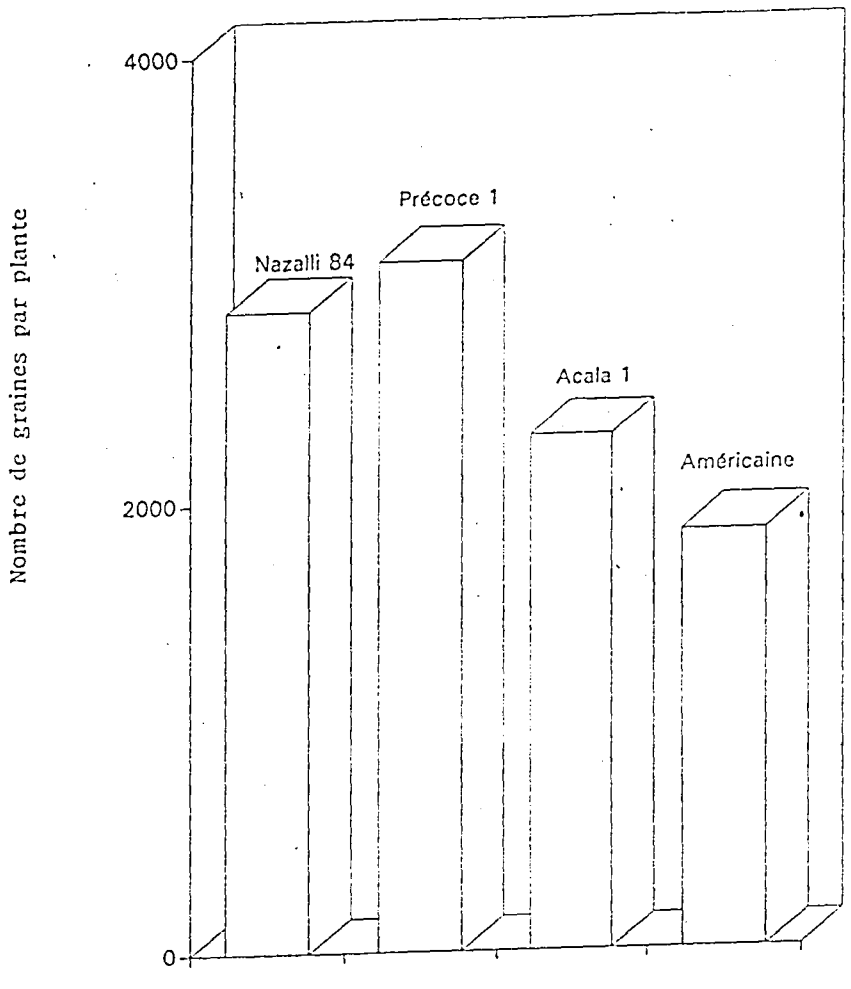


FIGURE 4 : Nombre de graines par plante, mesuré pendant le stade maturation des plantes chez les 4 variétés de coton

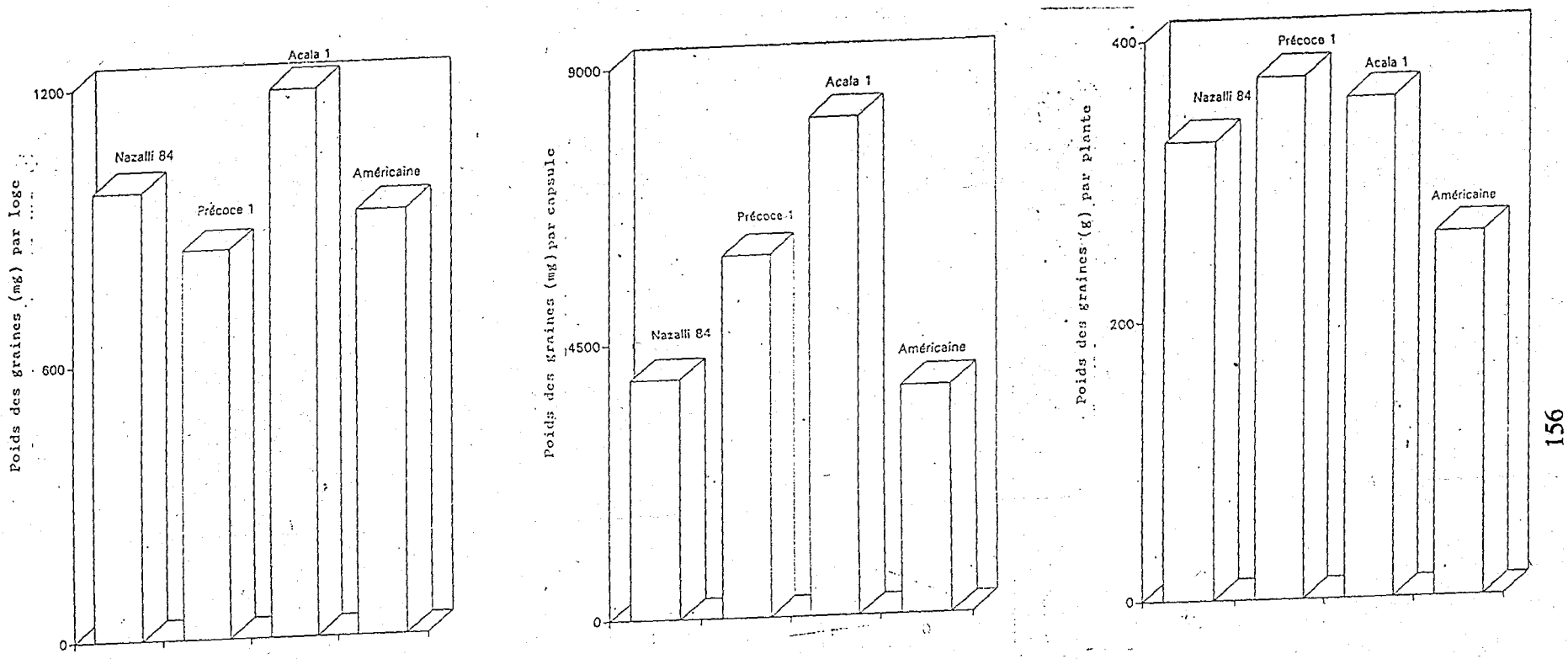


FIGURE 5 : Poids des graines par loge, par capsule et par plante chez les 4 variétés de coton, mesuré pendant le stade maturation des plantes.

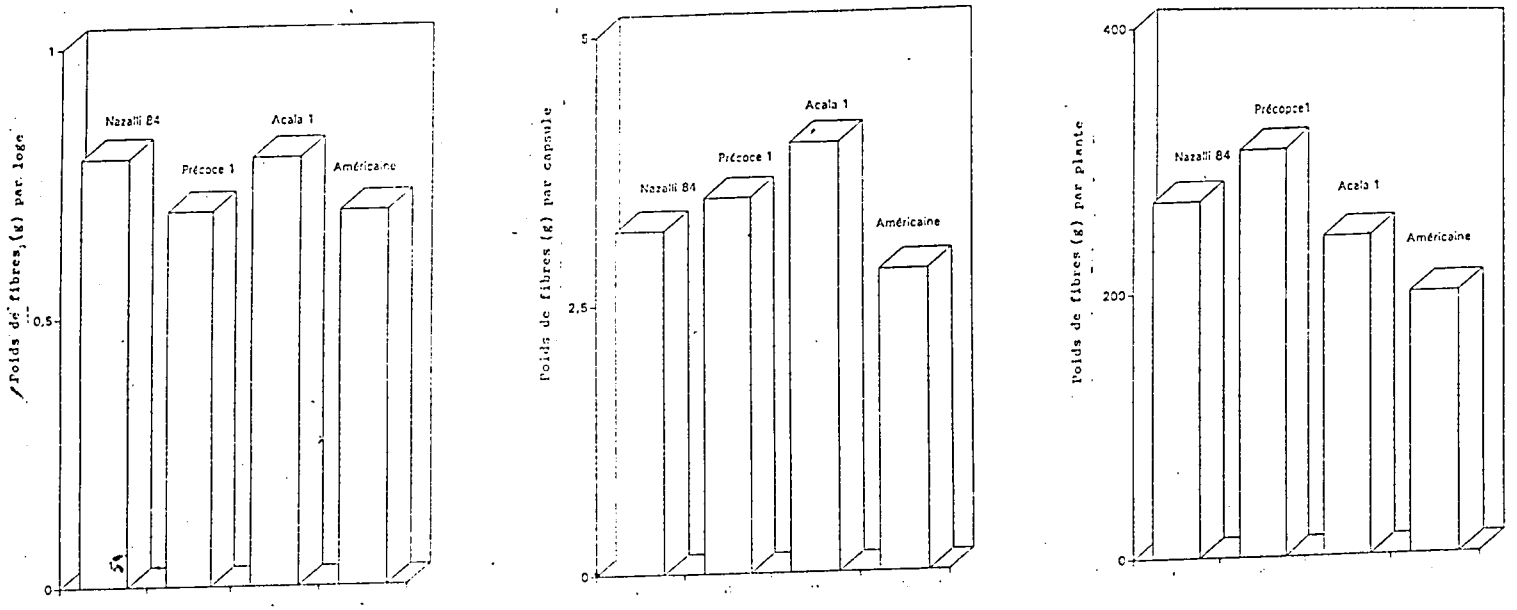


FIGURE 6 : Poids des fibres par loge, par capsule et par plante chez les 4 variétés du coton, mesuré pendant le stade maturation des plantes.

UTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN AGRICULTURE

CRGR 916

LA REUTILISATION DES EAUX USEES QUELQUES ELEMENTS DE REFLEXION

Akiça EL BAHRI

Centre de Recherche du Génie Rural, B.P. 10 Ariana 2080, Tunisie .

INTRODUCTION

L'évolution de la réutilisation des eaux usées a connu et connaît encore à l'heure actuelle différentes phases en fonction des intérêts mis en jeu qu'ils soient économiques, sanitaires, socio-culturels, ou environnementaux .

Les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très larges quand la qualité est en adéquation avec l'usage et les exemples sont nombreux de par le monde .

En Tunisie, la réutilisation des eaux usées constitue une ressource additionnelle, une source potentielle d'éléments fertilisants pour les plantes, et une étape de traitement complémentaire soit, par conséquent, un moyen de protéger les zones littorales, les ressources hydriques et les milieux récepteurs sensibles .

Les eaux usées sont principalement utilisées pour l'irrigation de périmètres agricoles et à des fins récréationnelles pour l'arrosage de terrains de golf et de jardins d'hôtels . La recharge des nappes est menée dans un cadre expérimental .

Après une première phase d'équipement qui a porté la superfice des périmètres irrigables à plus de 6 500 ha, on observe un ralentissement dû à divers facteurs .

Par ailleurs, des contraintes de différents ordres limitent l'extension de l'utilisation des eaux traitées . Certaines d'entre elles sont communes aux périmètres irrigués avec des eaux conventionnelles alors que d'autres sont spécifiques à ceux irrigués avec des eaux usées traitées .

Après un bref aperçu historique sur la réutilisation des eaux usées et la présentation de quelques exemples de réutilisation pris dans le monde, certains aspects qui nous semblent importants pour le développement de la réutilisation des eaux usées en Tunisie seront développés.

I. APERÇU HSTORIQUE SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES

La reutilisation des eaux usées urbaines est une pratique très ancienne qui a pris des proportions plus importantes avec le développement des réseaux d'égouts et l'adduction des eaux vers les zones de production agricole situées aux alentours des villes. C'était une tradition bien implantée dans les sociétés chinoises . Les civilisations européennes et méditerranéennes l'ons également pratiquée de longue date .

Parmi les cas les plus anciens et connus d'irrigation avec les eaux usées, on note celui des "Marcites" milanaises au XIVème siècle où l'eau de la Vettabia, qui recevait la plupart des eaux usées brutes de la ville était utilisée et celui de l'irrigation des huertas de Valence au XVème siècle. Cette pratique jusque là tolérée prenait un caractère officiel.

Avec l'expansion des grandes cités industrielles, on relève de nombreux exemples en Europe au XIXème siècle, soit en Grande Bretagne ("Metropolitan Swage Manure Company" de Londres), en Allemagne (Berlin, Braunschweig), en France (Achères,...), en Pologne, etc.

Avec le temps, cette pratique évolue selon les intérêts économiques, les prescriptions des hygiénistes, la sensibilité populaire et la sauvegarde de l'environnement (Prost, 1991).

Les découvertes de Pasteur en 1875 qui jettent les bases de la bactériologie et de l'hygiène entraînent un ralentissement de cette pratique. En 1906, une circulaire du ministère de l'agriculture français interdit sur les champs d'épandage la culture dans le sol ou au niveau du sol de légumes destinés à être consommés crus. Cette réglementation sera étendue en 1956 aux fruits et à tous les produits susceptibles d'être consommés crus. En 1976 et 1980, l'aspersion des cultures par des effluents urbains traités par voie biologique ou physico-chimique est interdit. Des recommandations très semblables à celles de l'OMS ont finalement été proposées en 1991 en France.

La première réglementation californienne sur la réutilisation des eaux usées date de 1918 et subira diverses modifications jusqu'en 1978. Des traitements très poussés sont nécessaires pour produire la qualité d'eau requise.

En 1973, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose des lignes directrices relativement contraignantes : la qualité de l'effluent destiné à l'irrigation de cultures consommées crues devait être semblable à celle de l'eau potable. Ces recommandations se basaient sur le concept de "risque nul". Quelques pays, dont les Etats-Unis et l'Afrique du Sud, développeront des projets de réutilisation à grande échelle en conformité avec la réglementation en vigueur.

Depuis 1985, un travail de collecte, d'analyse des informations et de réflexion a entraîné la révision des directives proposées et a conduit à de nouvelles propositions de l'OMS en 1989 pour la réutilisation des eaux usées en agriculture, aquaculture et pour l'eau urbaine non-potable.

Pour l'utilisation agricole, ces dernières directives se basent, en fonction de la catégorie des cultures à irriguer, sur un indicateur bactérien et un autre parasitaire. Elles considèrent le système d'irrigation, le groupe exposé et la technologie de traitement des eaux. La directive bactérienne recommandée pour l'irrigation sans restriction de toutes les cultures est la moyenne géométrique de 1.000 coliformes fécaux par 100 ml et la directive parasitaire est l'absence d'oeufs viables de nématodes. Cette dernière directive est à considérer dans le cas d'une irrigation restrictive. Des recommandations sont faites par l'irrigation des espaces verts et des jardins d'hôtels (<200 coliformes fécaux/100 ml) avec lesquels le public est directement en contact.

Ces lignes directrices sont loin de faire l'unanimité et sont sujettes à controverser : certains la trouvant trop laxiste alors que, pour d'autres, elles seraient encore trop respectives.

En ce qui concerne les directives chimiques, les critères de qualité qui déterminent le degré d'adaptation d'une eau usée à une irrigation agricole sont ceux de la FAO (Ayers et Westcot, 1985). Les constituants chimiques tels que les sols dissous, la teneur relative en sodium et les ions toxiques ne sont pratiquement pas affectés par la plupart des procédés de traitement des eaux usées, bien que, dans certains cas, leur concentration puisse augmenter sous l'effet de l'évaporation dans les lagunes ou les réservoirs de stockage. L'OMS a également entrepris un travail en vue de proposer des directives chimiques en relation avec la santé humaine dans le cas d'irrigation de cultures avec des eaux usées (Chang et al., 1993).

Actuellement, la réutilisation des eaux usées connaît un développement variable selon les pays en fonction de leurs ressources en eau et de leurs conditions socio-économiques, et politiques. Certains pays pratiquent encore l'épandage d'eaux usées brutes (Maroc, Syrie, Espagne, Egypte, Mexique, Pérou, Inde,...), alors que d'autres comme l'Arabie Saoudite, le Koweit, les Emirats Arabes Unis ou l'Etat de Californie, traitent leurs eaux jusqu'à un degré très avancé. D'autres encore comme la Tunisie ont opté pour une démarche intermédiaire et évolutive où les eaux de bonne qualité sont réservées en priorité pour la consommation humaine et celles de qualité moindre pour l'usage agricole ou industriel. Les eaux traitées subissent un traitement secondaire et sont utilisées pour une irrigation restrictive où toutes les cultures maraîchères sont interdites.

La réutilisation des eaux usées est pratiquée dans de nombreux pays pour diverses fins : comme technique d'assainissement, pour contribuer à l'augmentation des ressources en eau, pour la création de nouveaux périmètres irrigués, à des fins récréationnelles, pour la recharge de la nappe, comme technique de protection de l'environnement, à des fins industrielles, pour la production aquacole,... Les exemples sont nombreux.

La réutilisation se développe dans de nombreux pays sur des bases rationnelles, dans un cadre organisé et selon des normes précises. Elle est intégrée aux stratégies de gestion des ressources en eau.

II - EXEMPLES DE REUTILISATION DES EAUX USEES DANS LE MONDE

Quelques exemples de réutilisation des eaux usées sur l'Île de Malte, au Japon et aux Etats-Unis sont présentés dans ce qui suit (Bahri, 1993).

2.1. Cas de l'Ile de Malte

Sur l'Ile de Malte, l'irrigation avec de l'eau potable est interdite et 40% de la demande en eau est assurée par dessalement de l'eau de mer. L'agriculture irriguée a donc recours aux eaux usées. Les effluents de la station de traitement de Sant Antnin sont utilisés pour l'irrigation (à la raie et par aspersion) de 600 hectares de cultures maraîchères. L'eau usée subit un traitement biologique (boues activées), une filtration rapide sur sable et une chloration. Après désinfection, les effluents sont pompés vers des réservoirs utilisés pour l'irrigation.

Des projets sont à l'étude pour réutiliser les eaux usées pour la centrale thermique et le chantier naval. La centrale thermique utilise un volume journalier de 1 150 m3 pour fournir la vapeur nécessaire à la production d'électricité. Une eau déminéralisée est requise pour cet usage. Pour le chantier naval, une eau d'excellente qualité (physico-chimique et microbiologique) est nécessaire en raison de son utilisation pour le lavage et les peintures et des risques d'exposition encourus par les ouvriers. Un traitemnt poussé de l'eau usée a été envisagé avec une unité d'osmose inverse pour réduire jusqu'à 95% des sels et des matières organiques et éliminer les colloïdes, les bactéries ainsi que les virus et autres parasites.

2.2. Cas du Japon

Le Japon est affecté par des problèmes de pénurie d'eau et de pollution des eaux domestiques, industrielles et agricoles. Du fait de l'importante densité de sa population et de ses ressources en eau limitées, des programmes de traitement et de réutilisation ont été conduits depuis de

nombreuses années. La réutilisation des eaux usées traitées dans les bâtiments administratifs et les complexes résidentiels a commencé dès 1975. Après un traitement secondaire, les eaux subissent une coagulation suivie d'une décantation, d'une filtration rapide et d'une désinfection avant d'être redistribuées dans des usines et dans des bâtiments pour les chasses d'eau et pour le nettoyage des locaux (soit 46 l / personne/j). Un double réseau a été mis en place où l'eau usée provenant de bâtiments individualisés ou de complexes résidentiels est traitée et redistribuée dan un réseau séparé (environ 40% de l'eau usée traitée).

D'après une étude réalisée en 1987, la ville de Tokyo dispose à elle seule de 77 unités de ce genre; la quantité d'eau recyclée a atteint près de 14 500 m^3/j. Il ya actuellement plus de 300 unités de recyclage de ce genre réparties dans tout le pays .

Pour satisfaire les normes de qualité de l'eau pour l'environnement et pour prévenir les phénomènes d'eutrophisation des lacs et des réservoirs, les procédés comprenant l'élimination du phosphore et de l'azote sont récemment devenus nécessaires . Un certain nombre d'études et de projets de recherche portent sur les procédés biologiques d'élimination de P et N dont l'application de la biotechnologie .

2.3. Cas des Etats - Unis

Aux Etats-Unis, le volume d'eau usée traitée recyclé s'élève à 2,6 x 10^6 m^3/j. La plupart des sites de réutilisation sont dans les états arides et semi-arides de l'Ouest et du Sud-Ouest ;

Les eaux usées traitées sont réutilisées à des fins agricoles, pour l'irrigation d'espaces verts, à des fins industrielles, pour la recharge artificielle des nappes, pour des usages récréationnels / environnementaux, à des fins non-potables et potables .

En Californie, 0.9 x 10^6 m^3/j d'eau usée traitée sont réutilisés en 400 lieux différents.. Actuellement, 63 % de ces eaux sont utilisés en agriculture mais la tendance est à la baisse, 14 % sont utilisés pour la recharge des nappes et la tendance est à la hausse ; 2 % sont recyclés dans l'industrie et 20 % sont utilisés pour l'irrigation d'espaces verts et la tendance est également à la hausse .

Pour la ville de Los Angeles, l'objectif fixé est de réutiliser 40 % du volume des effluents (soit 300 Mm^3/an) pour combler le déficit en eau. Les utilisations des eaux usées traitées les plus importantes sont les systèmes de double distribution (eau potable - eau usée traitée), la recharge des nappes et la lutte contre l'intrusion marine, suivies par la réutilisation des eaux usées à des fins industrielles et pour la ceinture verte de Los Angeles .

* Recharge de la nappe

En Californie, pour la recharge de la nappe, les eaux subissent un traitement tertiaire préalable :

* Pour la recharge par bassins d'infiltration, ce traitement comporte une filtration sur sable suivie d'une chloration pour que la concentration en coliformes fécaux soit inférieure à 2.2 CF / 100 ml;

*Pour l'injection directe dans la nappe, le traitement est plus élaboré avec un traitement de l'azote, un traitement par charbon actif, par osmose inverse et enfin une chloration ou une ozonation .

En Arizona, des études de recharge artificielle des nappes avec des eaux usées menées sur deux sites expérimentaux à Phoenix ont montré que le système de "traitement sol-aquifère"

permettait de réduire la concentration en azote de 20 à environ 7 mg/l, la concentration en coliformes fécaux (dans un effluent secondaire chloré) de 3.500 à 0.3/100 ml, le nombre de virus de 21 à 0 pfu/l, les matières en suspension de 15 à 1 mg/l et le carbone organique total (non dégradable) de 20 à 3 mg/l.

*** Alimentation en eau non potable**

A Saint Pétersbourg, en Floride, des systèmes de bouble distribution des eaux potables et usées traitées sont en service depuis près de vingt ans . Toute l'eau usée traitée est réutilisée à des fins d'irrigation, pour la protection contre les incendies et l'injection dans des puits profonds . Des économies substantielles d'eau potable (32 000 m^3/j) et d'engrais (1/5 des besoins) sont ainsi réalisées .

*** Prix de l'eau usée**

En Californie, le prix de l'eau usée traitée a été fixé au maximum à 85 % du prix le l'eau potable .

Pour la ville de Los Angeles, le coût de l'eau usée reste très inférieur au coût du dessalement (Tableau 1) .

Tableau 1 : Comparaison du coût de l'eau usée traitée à Los Angeles à d'autres sources d'eau

Origine de l'eau	Coût de l'eau (cents/m^3)
Eau de l'aqueduc de Los Angeles	8
Eau pompée dans les aquifères	10
Eau importée d'une autre région	20
Eau usée traitée	25
Eau dessalée	160

Ces exemples montrent diverses possibilités de réutilisation des eaux usées . Chaque usage requiert une qualité donnée soit un coût d'opportunité .

III. LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN TUNISIE

La réutilisation des eaux usées se justifiait à plus d'un titre en Tunisie : économie d'eau, économie d'engrais, protection du milieu récepteur (zones de baignade, retenues de barrage, ...), augmentation de la production agricole, création de zones vertes, recharge de la nappe, ...

Le développement qu'elle a déjà connu dans le secteur agricole devrait également s'étendre à d'autres secteurs étant donné que les eaux usées constituent une ressource disponible de façon régulière et dont le volume mobilisable est appelé à suivre le développement urbain, touristique et industriel .

Les acquis et les réalisations dans ce domaine sont nombreux et il n'en sera pas fait état dans la présente note. Nous soulignerons plutôt les problèmes de différents ordres auxquels la réutilisation des eaux usées se trouve confrontée et proposerons quelques éléments de réflexion .

3.1. Problèmes de la réutilisation des eaux usées en Tunisie

L'équipement des périmètres irrigables avec les eaux usées traitées connaît un certain ralentissement du fait de problèmes divers dont les moyens financiers disponibles .

Par ailleurs, le taux de réutilisation des eaux traitées est faible comparativement au potentiel . Moins de 20 % du volume d'eaux usées traitées sont utilisés à l'heure actuelle . L'irrigation est pratiquée seulement six mois par an avec une faible efficience des réseaux de distribution et d'irrigation et un faible volume d'eau appliqué par hectare . Ceci affecte l'efficience économique des opérations de réutilisation .

Les principales raisons de la sous-utilisation de l'eau usée traitée en irrigation sont :

- le changement des pratiques culturales (passage du sec à l'irrigué) et les contraintes liées à la qualité des eaux usées traitées et à la réglementation (irrigation restrictive interdisant l'irrigation des cultures maraîchères) ;
- les défauts de conception dans certains cas ;
- les problèmes d'alimentation en eau sur certains périmètres dûs à un manque d'entretien et de maintenance des équipements (stations de pompage, réseau) ;
- Les problèmes fonciers, d'équipement et d'aménagement (périmètres sans bassin de régulation ou de stockage) ;
- Le désaccord à propos du prix de l'eau usée .

Ces problèmes ont un caractère technique et institutionnel .

Etudes de projets

Les projets réalisés dans les années 80 n'ont pas considéré le "marché" des eaux usées . Dans le cas du périmètre de Cébala (Scet International et al., 1981), l'étude agro-sociologique a à peine été prise en compte dans la réalisation de l'étude et les investissements ont été décidés sur un taux de rentabilité relativement faible. Durant les quinze dernières années, l'analyse des études de projets de réutilisation (dont celui des 11 villes (Dorsch Consult, 1987)) montre des changements appréciables dans l'approche adoptée, les critères de faisabilité et les options de réutilisation. Plus récemment, une étude du marché des eaux usées et des boues résiduaires a été lancée par l'ONAS. Cette approche peut à l'avenir donner la préférence à d'autres utilisateurs (terrains de golf, ceintures vertes, jardins d'hôtels,...) plutôt qu'au secteur agricole, même si la qualité de l'eau doit être améliorée au préalable.

Par ailleurs, peu d'études ont tenu compte des différentes alternatives existantes et ont été conduites sur la base d'une évaluation économique précise; analyse coûts-avantages socio-économiques qui aurait permis de comparer les coûts du traitement additionnel, du stockage, du transport et de la distribution de l'effluent aux avantages de la réutilisation (valeur de l'eau, teneur en nutriments, impact sur la santé et sur l'environnement,...).

Qualité des eaux

En matière de traitement des eaux usées bien que différentes étapes puissent être distinguées dans la politique de l'Office National de l'Assainissement (à savoir des stations conçues pour protéger les zones de baignade, le projet des 11 villes pour la protection de la retenue de Sidi Salem, l'association du traitement et de la réutilisation des eaux usées dans les nouveaux projets), aucun traitement complémentaire n'est effectué pour la réutilisation agricole ou pour toute autre forme de réutilisation. Seuls les aspects positifs de la réutilisation ont été considérés.

L'utilisateur n'est pas impliqué dans les projets et des restrictions (système de culture limité) et des conditions d'utilisation de l'eau plus astreignantes (précautions d'emploi) lui sont imposées par ailleurs.

La réutilisation présente certains impacts négatifs tels que les risques de pollution des nappes par les nitrates essentiellement, les pathogènes et les éléments traces organiques dan certains cas. Un excès d'azote peut retarder la maturation des fruits, entraîner une sensibilité plus grande aux maladies et une tendance à la verse des céréales.

Stockage des eaux usées

Certains périmètres irrigués disposent de réservoirs de régulation dont la capacité varie de 250 à 6000 m3 environ alors que d'autres n'en ont pas (Ben Arous). La capacité totale des réservoirs de régulation est d'environ 11000 m3.

Aucun stockage n'est effectué sur l'ensemble des sites existants. Cela signifie qu'une grande partie de l'eau est perdue, l'eau n'étant utilisée à des fins agricoles que durant la campagne estivale, soit environ 6 mois par an.

Le stockage intersaisonnier de surface ou souterrain pourrait contribuer à la régularité des débits disponibles, l'augmentation du taux de réutilisation et l'amélioration de la qualité de l'eau.

A ce titre, à partir d'une évaluation économique des mesures techniques d'économie de l'eau (Agrar et al., 1993), il ressort (Tableau 2) que le stockage des eaux usées se justifie pleinement en comparaison d'autres mesures (la période de planification considérée pour les coûts d'investissement et de fonctionnement des différentes mesures est de 40 ans).

Tableau 2 : Coûts moyens dynamisés des mesures d'économie d'eau.

Mesures d'économie d'eau	(DT/m3)
* Surélévation des grands barrages	0.085 - 0.660
* Transferts interrégionaux (valeur moyenne)	0.149
Sud	0.234
Centre	0.181
Ouest	0.037
* Stockage des eaux usées traitées	0.167
* Dessalement des eaux saumâtres	0.288
* Dessalement de l'eau de mer	1.400
* Réhabilitation des réseaux de distribution d'eau potable	1.400
* Secteur agricole (valeur moyenne)	0.578
modernisation du réseau de distribution	0.781
réhabilitation des équipements	0.155
systèmes d'irrigation localisée	0.506
autres système d'irrigation	0.406
* Recyclage des eaux usées industrielles	0.168

Autres problèmes divers

Le décret et le cahier des charges limitent le champ d'utilisation des eaux usées. Si dans un premier temps, cette étape est nécessaire pour fixer les limites de la réutilisation, c'est-à-dire réduire les risques sans renoncer aux bénéfices, il est nécessaire de préparer l'étape suivante qui permettra de se dégager les restrictions imposées.

Le secteur agricole ne peut absorber à lui tout seul le volume d'eaux usées disponible. Bien que les eaux usées soient aussi utilisées pour l'irrigation des terrains de golf et de certains jardins d'hôtels, il y a lieu de diversifier les domaines de réutilisation possibles.

Les normes de rejet dans le milieu hydrique sont plus restrictives que celles de la réutilisation agricole. La cohérence des réglementations en vigueur relatives à la réutilisation agricole et aux rejets dans le milieu récepteur est à revoir. Une réglementation pour les opérations de recharge des nappes est peut-être à envisager.

Prix de l'eau usée

Une évaluation adéquate du prix de l'eau est importante pour le recouvrement des coûts et pour encourager la conservation de l'eau par les usagers. Concevoir une politique adéquate pour la tarification du prix de l'eau est par conséquent une étape importante pour la réussite des opérations de réutilisation des eaux usées.

* Coûts du traitement des eaux usées

Seuls les coût d'exploitation sont pris en compte dans le calcul du coût de l'eau traitée. Les coûts d'investissements (intérêts et amortissement des équipements) ne sont pas considérés. Ceci conduit à un coût du mètre cube d'eau traitée de 0.034 mil. en moyenne pour l'année 1993 (ONAS, 1993). La fourchette de variation était de 0.16 - 0.208 mil/m3 (excepté 1.03 mil/m3 pour Zarzis). Les frais d'énergie électrique représentent 60% des charges d'exploitation, les salaires du personnel exploitant 30% et les frais d'entretien 10%. Ce coût a peu varié durant ces dix dernieres années.

Au niveau de l'utilisateur d'eau usée traitée, le prix de l'eau devrait couvrir les coûts de traitement additionnel pour la réutilisation (quand il y en a un), de régularisation, de transport (conduites, canaux), de pompage, de stockage (quand il existe) et les frais de fonctionnement et de maintenance.

Lors de la création de nouveaux périmètres, l'eau usée a souvent été distribuée gratuitement au début de la mise en eau pour inciter les agriculteurs à l'utiliser, puis à un prix forfaitaire à l'hectare avant d'évoluer vers un prix par m3 d'eau utilisé.

Bien qu'il n'y ait pas encore de règles clairement définies quant aux bases de la tarification de l'eau usée, les principes qui se dégagent sont :

- Les redevances sont destinées à couvrir les frais d'exploitation (maintenance, fonctionnement, salaires, énergie)

- Le prix de l'eau usée devrait évoluer progressivement vers le coût réel comme dans le cas des eaux conventionnelles

- Le prix de l'eau usée doit rester inférieur à celui de l'eau conventionnelle.

Actuellement, le prix de l'eau vendue aux agriculteurs varie d'un périmètre à l'autre. Dans le cas du périmètre du Mornag par exemple, les frais d'exploitation s'élevaient à 65 mil/m3 et le prix de vente était de 46 mil/m3; les eaux du canal Medjerda-Cap Bon étaient vendues à 58

mil/m3. Ce prix avait déjà subi des augmentations. Dans certains cas comme celui de Zaouiet Sousse, l'augmentation du prix de l'eau usée a entraîné une réduction des irrigations. Ceci montre que ce sujet nécessite de plus amples réflexions et études et qu'il doit faire l'objet de discussions avec les utilisateurs.

3.2 Actions à entreprendre

Des actions sont à entreprendre pour le développement de la réutilisation des eaux usées. Certaines propositions à caractère plus large ont déjà été avancées (Bahri, 1993). Un plan d'actions est présenté ci-après :

- Définir une politique et une stratégie de réutilisation des eaux usées.
- Proposer un canevas pour les termes de référence des études de réutilisation des eaux usées.
- Revoir la réglementation en vigueur : décrets, normes de réutilisation et de rejet dans le milieu récepteur.
- Identifier des mesures institutionnelles en vue d'une meilleure utilisation des eaux usées.
- Etudier les meilleures options technico-économiques pour valoriser les eaux usées (traitements additionnels,...).
- Développer d'autres options de réutilisation des eaux usées non suffisamment prospectées :

* l'utilisation des eaux usées à des fins récréatives et municipales (irrigation d'espaces verts, nettoyage des rues,...).
* l'injection dans les eaux superficielles non utilisées pour la consommation humaine,
* la réutilisation à des fins industrielles,
* l'aquaculture.

- Considérer les possibilités de stockage de surface ou souterrain des eaux usées.
- Evaluer sur les plans technique et économique les opérations de réutilisation des eaux usées.
- Mener une étude sur la tarification de l'eau usée.
- Développer des recherches sur :

* les possibilités d'amélioration de la qualité des eaux traitées (chloration, ultra-violets, filtration sur sable, traitement par le sol, stockage souterrain ou de surface, bassins de maturation,...),
* l'optimisation de la fertilisation dans les périmètres irrigués avec les eaux usées traitées,
* les systèmes d'irrigation présentant le minimum de risque pour l'agriculteur, le consommateur et l'environnement,
* les cultures et les assolements valorisant l'irrigation avec les eaux traitées, ne présentant pas de risques sanitaires et à haute valeur ajoutée.
* la mise au point d'une méthodologie de suivi des périmètres irrigués avec les eaux usées traitées,
* l'étude de l'impact des opérations de recharge avec des eaux usées traitées sur la qualité des eaux de nappe.

CONCLUSION

Les futurs projets de réutilisation des eaux usées en Tunisie dépendront d'une meilleure planification et d'un meilleur aménagement des opérations de réutilisation. Ceci signifie l'amélioration de l'évaluation et de la prise en compte des facteurs techniques, sociaux et environnementaux et la recherche d'une meilleure organisation sur le plan institutionnel.

Le stockage intersaisonnier de surface ou souterrain peut contribuer à régulariser les débits disponibles, augmenter le taux de réutilisation et améliorer la qualité de l'eau.

Une étude du marché des eaux usées peut aider à déterminer de potentiels utilisations et utilisateurs et les besoins quantitatifs et qualitatifs d'eau. Une évaluation de la faisabilité économique et financière de la réutilisation des eaux usées est également nécessaire pour la réalisation de futurs projets. Enfin, le développement de la recherche sur la réutilisation des eaux usées est nécessaire pour réduire au minimum les risques liés à l'utilisation d'effluents et pour l'évaluation des effets à long-terme de l'utilisation des eaux usées sur le système sol-plante-aquifère-homme.

REFERENCES

AGRAR-UND HYDROTECHNIK GMBH - GKW - COYNE ET BELLIER - CNEA, 1993 - Economique d'Eau 2000 - Rapport - Stratégie de gestion d'eau, juillet 1993, 152 p. + annexes.

AYERS, R.S, WESTCOT, D.W., 1985 - La qualité de l'eau en agriculture, Bulletin FAO d'irrigation t de drainage, No 29, Rév. 1, 180 p.

BAHRI, A., 1993 - La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie, Rapport CRGR, Mai 1993, 33 p. + annexes.

BAHRI, A., 1993 - La réutilisation des eaux usées dans certains pays - Etudes de cas, Rapport CRGR, Mai 1993, 46.

CHANG, A.C., PAGE, A.L. et ASANO, T., 1993 - Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge aplictions in griculture, Rapport soumis à l'OMS, Genève, Suisse, Technical Service Agreement, No. GL/GLO/CWS/058/RB90.300 & GL/GLO/DGP/449/RB/90.30, 113 p.

DORSCH CONSULT, 1987 - Développement de l'irrigation avec la réutilisation d'eaux usées épurées pour la production agricole dans la Vallée de la Madjerda - Tunisie, Projet 11 villes, Tranche 1 : Béja - Jendouba - Medjez El Bab, Avant - Projet Sommaire - Réutilisation des eaux usées, Rapport technique, 143 p + annexes.

ONAS, 1993 - Rapport annuel d'exploitation des stations d'épuration, Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, 53 p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 1973 - Technical Report Series No. 517. Reuse of Effluents : Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards - Rapport d'une Réunion d'Experts de l'OMS. Genève : Oraganisation Mondiale de la santé, 63.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 1989 - Technical Report Series No. 778. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, Rapport d'un Groupe Scientifique de l'OMS. Genève : Oraganisation Mondiale de la santé, 74.

PROST, A., 1991 - L'évolution des normes d'hygiène pour l'emploi des eaux résiduaires, Session Spéciale N° 5, Réutilisation des eaux usées, VIIème Congrès Mondiale des Ressources en Eau, 13 - 18 mai 1991, Rabat, Maroc, p. 21-26.

SCET INTERNATIONAL - CNEA - SCET TUNISIE, 1981 - Plan Directeur des Eaux du Nord - 2ème Tranche - Avant-Projet Eaux Usées, Volume 1, Rapport général, 45 p., Volume 2, Etudes agro-économiques, 112 p., Volume 3, Aménagements hydrauliques + annexes + cartes.

Cr.Dp.0167

EFFETS DES EAUX USEES TRAITEES SUR LE COMPORTEMENT PHENOLOGIQUE ET HYDRIQUE DU COTONNIER (GOSSYPIUM HIRSUTUM L)

MEZGHANI Imed, CHAIEB M. & BOUKHRIS M.
Faculté des Sciences de Sfax

RESUME :

Le présent travail concerne l'étude de l'impact des eaux usées traitées sur la biologie du Gossypium hirsutum L, cultivé dans la parcelle expérimentale de l'OTD Châal (Sfax). L'expérimentation consiste à comparer 4 doses d'irrigation avec les eaux usées (452, 632, 812 et 992 mm) à un témoin irrigué avec l'eau du puits et recevant une dose de 452 mm. La phénologie du G. hirsutum est caractérisée par l'observation des paramètres de la production et l'état hydrique, par les mesures du potentiel foliaire de base (Ψfb) & potentiel foliaire minimum, (Ψfx).

Les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus sont les suivants :

- l'irrigation avec les eaux usées entraîne une amélioration du rendement du cotonnier par rapport à l'eau du puits. Ainsi, pour la dose d'irrigation de 452 mm, ces rendements sont successivement de 3,32 et 1,99 tonnes de fibres graines par hectare,

- l'efficience de l'eau usée traitée, (exprimée en kg de fibres graines/mm d'eau consommée) est élévée pour la dose de 452 mm avec 7,34 kg/mm/ha dans le cas des plantes irriguées avec les eaux usées et 4,42 kg/mm/ha pour le témoin. Pour une dose de 992 mm l'efficience de l'eau d'irrigation n'est que de 4,28 kg/mm/ha. Cette dernière dose, est donc celle qu'il faut retenir pour la culture du Cotonnier en raison de la forte productivité (4,25 tonnes/ha),

- au niveau des paramètres hydriques, bien que la différence entre le potentiel foliaire minimum (Ψfx) des individus irrigués avec l'eau de puits et ceux avec l'eau usée ne soit pas significative, on souligne une chute générale du (Ψfx) d'environ -0,4 MPa à l'issue de la phase végétative. Cette chute étant semble t-il liée à l'accroissement des besoins hydriques de la plante et par conséquent à sa transpiration, n'est de fait visible que dans les traitements recevant de faibles doses d'irrigation. Cette considération suggère une attention particulière quant aux doses d'irrigation durant les périodes critiques du cycle biologique du cotonnier.

INTRODUCTION

L'importance grandissante des coûts d'approvisionnement en eau potable des villes, en plus de l'évacuation des rejets des eaux usées, conduit dans tous les pays en particulier ceux qui sont à climat aride et semi-aride à se poser la question de la réutilisation des eaux usées traitées.

Les ressources en eaux naturelles globales sont constantées et sont évaluées à 4,5 milliards de m^3 pour la Tunisie. En revanche, le volume d'eau usée ne cesse de s'accroître avec le temps proportionnellement avec les demandes totales en eau (GHARBI et al, 1991).

En Tunisie, le coton représente en quantité la moitié de toutes les fibres consommées en textile. Paradoxalement, la culture de cette espèce est pratiquement inexistante dans notre pays. Par conséquent, les produits cotonniers sont importés sous trois formes : fibres, fils et tissus pour satisfaire les besoins du secteur textile dont l'importance économique et sociale n'est pas à démontrer (Société le Coton Tunisien, 1985).

MATERIEL ET METHODE

Le dispositif expérimental étant détaillé par ailleurs (MEZGHANI, 1994) nous nous contenterons de donner ici un bref rappel des conditions expérimentales. L'installation du cotonnier a eu lieu par semis en Avril 1993, sur des parcelles expérimentales de 60 m2 de superficie (10 m x 6 m). Le semis a été effectué en poquets sur des lignes, distantes de 0,6 m. La profondeur des semis n'excède pas 4 cm.

Les eaux utilisées pour l'irrigation ont deux origines à savoir :

- les eaux de nappes provenant d'un puits situé à proximité du site expérimental,

- les eaux usées traitées provenant de la station d'épuration de Sfax. Ces eaux d'origine urbaine, ont subi un traitement biologique par lagunage aéré (ALLANI, 1993).

Au tableau 1 (a & b), nous présentons les caractéristiques de ces eaux utilisées pour l'irrigation.

Ions	Eau usée	Eau du puits (témoin)
NH_4+	68,4	0,05
NO_2-	10,45	0,02
PO_4^{2-}	47,5	0
K^+	52,3	3,9
Na^+	759	308,2
Ca^{2+}	246	250
Mg^{2+}	146,4	116,2
Cl^-	1171,5	543,2
$HCO-_3$	720	146,4
SO_4^{2-}	734,4	792

Tableau 1a : Bilan ionique des eaux usées (E.U) et de l'eau de puits (E.P) (en mg/l), utilisées dans nos expérimentations.

	E.U	E.P
pH	7,5	7,9
C.E (mmhos/cm)	5,84	3,26
RS (g/l)	3,83	2,16

C.E : Conductivité électrique R.S : résidu sec

Tableau 1 b : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées et des eaux de puits

Notre étude consiste à étudier la réponse des individus de cotonnier aux doses d'irrigation suivantes :

- traitement A : 452 mm d'eaux usées traitées,
- traitement B : 632 mm d'eaux usées traitées,
- traitement C : 812 mm d'eaux usées traitées,
- traitement D : 992 mm d'eaux usées traitées,
- traitement T (témoin) : 452 mm d'eaux de puits.

Le protocole expérimental consiste en un suivi décadaire de :

* La phénologie de la plante (élongation de la tige, nombre de capsules et rendement).

* L'humidité volumique du sol dont le rôle est important au niveau du comportement hydrique de la plante. L'évolution de ce paramètre est réalisée par une sonde à neutrons. Cette méthode présente actuellement le stade le plus avancé de la technique dans ce domaine. Elle a été utilisée par plusieurs auteurs, parmi lesquels on cite (IBRAHIM, 1979 et CHAIEB 1989, 1993).

* L'état hydrique des individus apprécié par la mesure du potentiel hydrique foliaire (ΨF) à l'aide d'une chambre à pression. Elle est couramment employée pour les mesures sur le terrain du potentiel hydrique foliaire (HENCHI, 1987; REJEB, 1992 et CHAIEB, 1993).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats obtenus montrent que l'irrigation avec les eaux usées traitées n'a pas d'effets néfastes sur la croissance et le développement du cotonnier. Au contraire, on assiste à une amélioration de la croissance en longueur de la partie aérienne. Les plantes de la parcelle A, croissent plus rapidement que celles de la parcelle T. Pour l'eau des puits, le retard atteint même 15 jours pour certaines phénophases de la plante (figure 1). Au cours d'essais réalisés en Arizona avec des eaux usées traitées, DAY et al (1982) ont constaté de la même manière une amélioration de la croissance en longueur du blé, du cotonnier et de la luzerne par rapport aux témoins irrigués avec l'eau du puits. Les hauteurs moyennes des individus relatifs au différents traitements en fin de cycle d'observation sont indiquées sur la figure 2.

Théoriquement, d'après les effets directs des eaux usées traitées sur la croissance et le développement du contonnier, on devrait s'attendre à une production plus précoce pour les traitements irrigués à l'eau usée par rapport au témoin. Ce qui n'est pas le cas dans notre essai, étant donné que le traitement témoin atteint le maximum de capsulation le 11 août (figure 3).

Les traitements irrigués à l'eau usée traitée proviennent à leur capsulation maximale le 21 Août, soit 10 jours après. Ce retard dans la production est dû à la richesse des eaux usées traitées en éléments fertilisants en particulier l'azote. Dans ce concept, PARRY (1982) a constaté aussi que la fertilisation azotée améliore le rendement mais accroit fréquemment la tardivité de la production. En outre, selon les traitements, on a constaté qu'il y a une chute plus ou moins importante des capsules. Elle est probablement dûe à une réaction physiologique des individus pour assurer la maturité du maximum de capsules.

Pour ce qui est de la production, on a constaté que l'irrigation avec les eaux usées traitées, entraîne une amélioration du rendement du cotonnier par rapport à l'eau de puits. Ainsi pour la dose d'irrigation 452 mm, ces rendements sont successivement l'équivalent de 3,32 et 1,99 tonnes de fibre graînes par hectare (figure 4). Ces résultats corroborent ceux de DAY et al (1982), PAPADOPOULOS (1986) et RICHARD et al (1987) qui ont constaté que l'irrigation avec les eaux usées traitées améliore la production du cotonnier par rapport à un témoin irrigué avec une eau de bonne qualité.

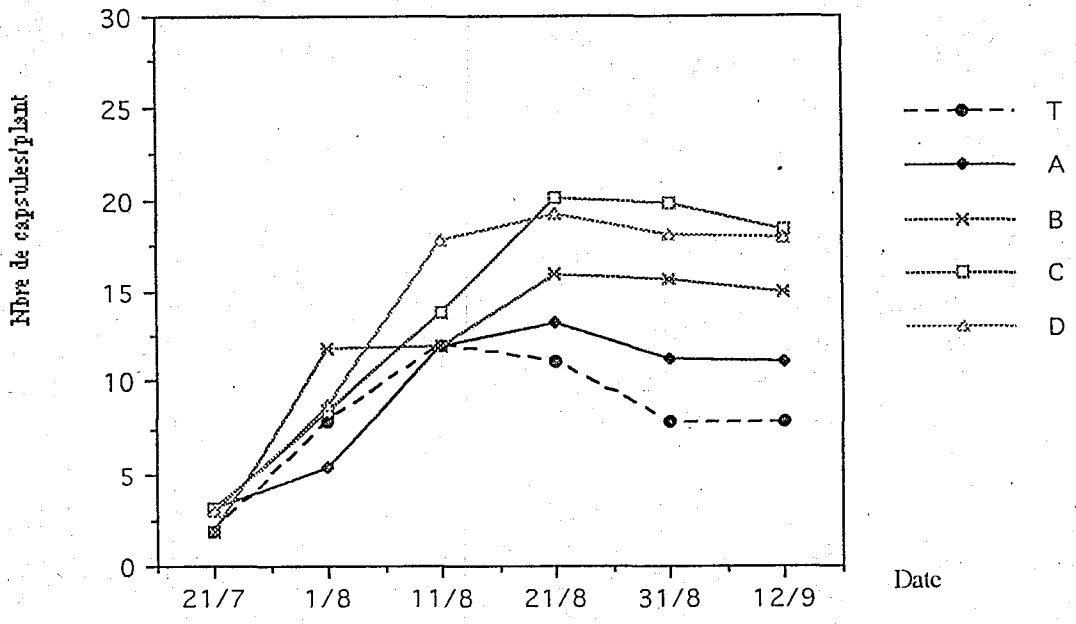


Figure 1:Evolution dans le temps du nombre de capsules en fonction des différentes doses d'irrigation

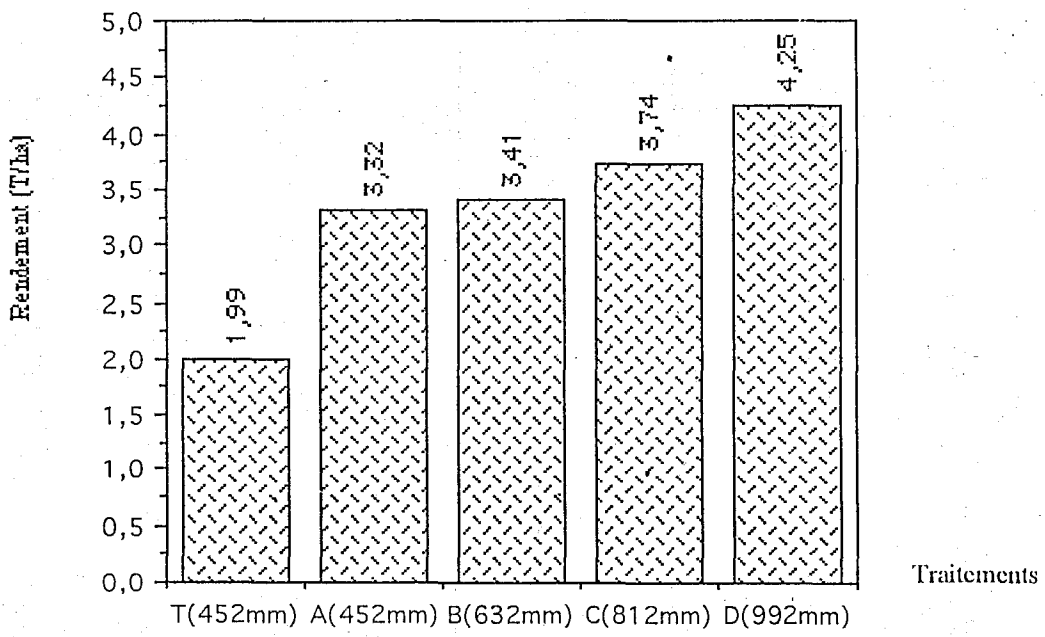


Figure 2:Rendement en coton graine (en tonnes par hectare) en fonction de la dose d'irrigation

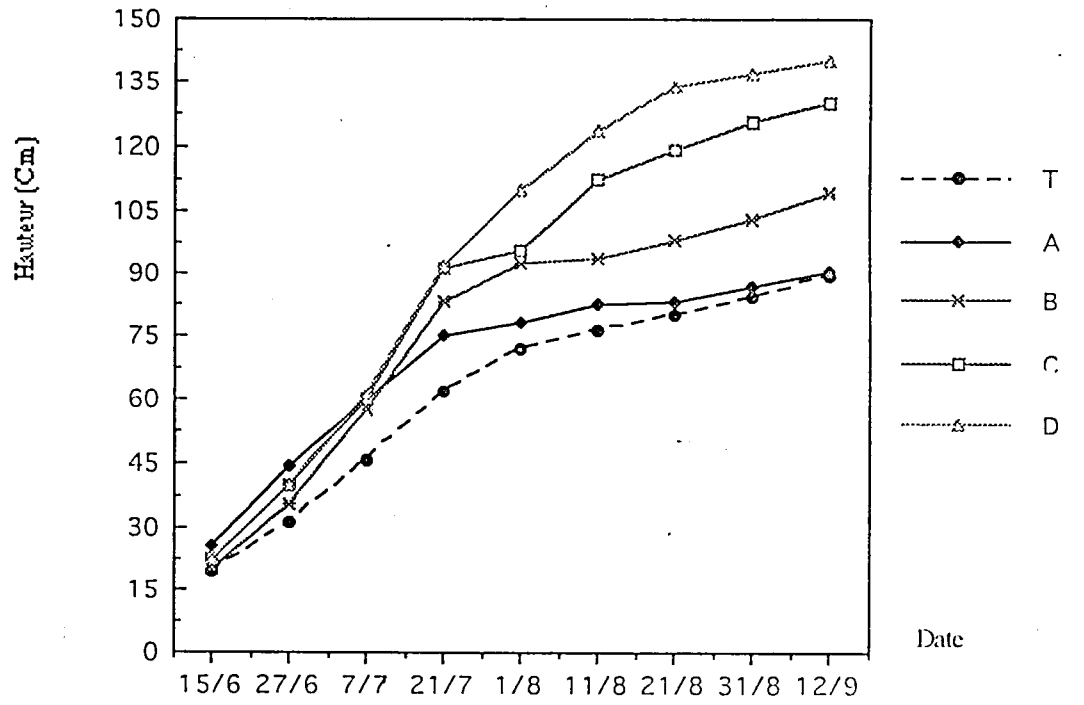


Figure 3 :Evolution dans le temps de la hauteur (en centimètres) des plants de Cotonnier en fonction et de la dose d'irrigation

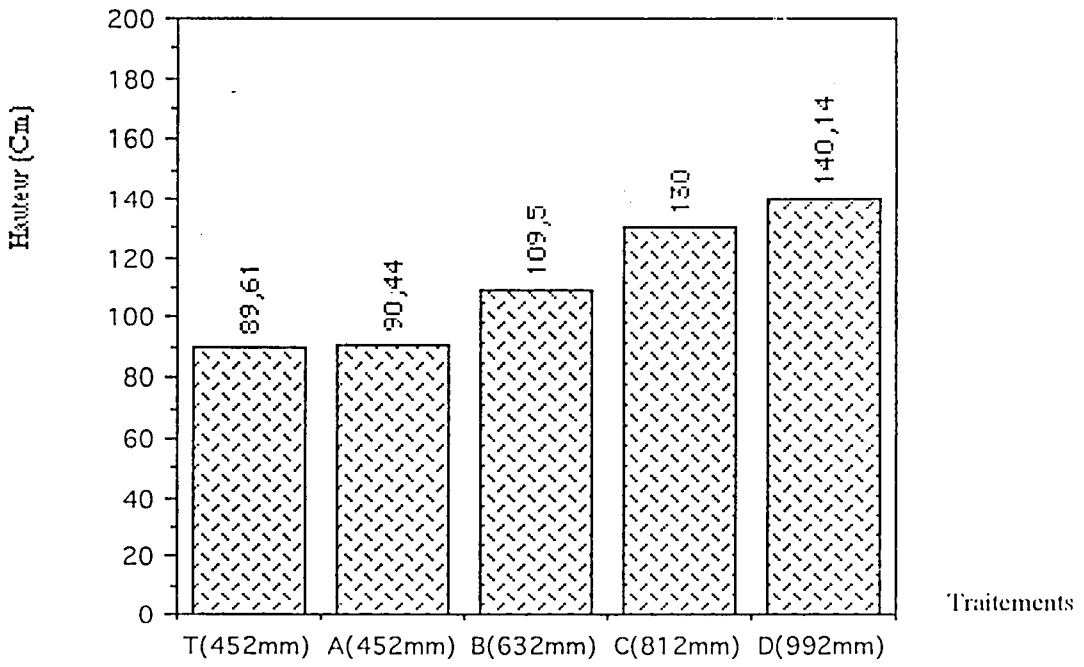


Figure 4:Hauteur des individus (en centimètre) en fin du cycle d'observation

L'efficience de l'eau usée traitée (exprimée en kg de fibres graines/mm d'eau consommée et par hectare) est élevée pour la dose 452 mm avec 7,34 kg/mm/ha dans le cas des plantes irriguées avec les eaux usées traitées et 4,42 kg/mm/ha pour le témoin. Pour une dose de 992 mm, l'efficience de l'eau d'irrigation n'est que de 4,28 kg/mm/ha (tableau 2).

Traitements	Dose d'irrigation (mm)	Rendement (T/ha)	* Efficience de l'eau (kg/mm d'eau/ha
T	452	2	4,42
A	452	3,320	7,34
B	632	3,410	5,39
C	812	3,740	4,60
D	992	4,250	4,28

Tableau 2 : Rendement de la culture (T/ha) et efficience de l'eau pour les différents traitements.

Au niveau des paramètres hydriques, les résultats obtenus vérifient la relation potentiel de base-stock hydrique du sol. D'après la figure 6 le potentiel de base des différents traitements varie entre -0,3 et -0,6 MPa jusqu'au 1er Août. A partir du 11 Août on a constaté que les traitements ayant le stock du sol le plus faible présente une chute de -0,4 MPa avec des valeurs proches de -1MPa. Par contre les traitements irrigués à des doses élevées d'eaux usées ne semble pas être affectés par cette chute du faite qu'ils maintiennent constamment durant la période de culture un potentiel de base voisin de -0,5 MPa.

Quant à l'évolution saisonnière du potentiel foliaire minimum (Ψfx), il nous a permis de constater que ce dernier est sous la dépendance plus de facteurs climatiques dont l'état hydrométrique de l'air que du stock hydrique du sol (figure 5 et 6). Ceci corrobore les constatations d'OURCIVAL, 1982 REJEB, 1992 et CHAIEB, 1993).

Le potentiel minimum des traitements A et B recevant 4 et 6 mm/jour diminue entre la 1ère phase qui s'étale du 29 juin au 1er Août correspondant au développement végétatif et à l'apparition des ébauches florales et la 2ème phase correspondant à la pleine floraison et à la maturation des capsules. Cette chute est de -0,5 MPa. En revanche, celui des traitements C et d avec un apport journalier de 8 et 10 mm/jour reste presque constant durant les deux phases avec des valeurs respectives de -1,8 MPa et - 1,5 MPa (figure 5 et 6). Cette relation croissance végétative potentiel hydrique, a d'ailleurs été mise en évidence depuis longtemps par OECHEL et al (1972) in CHAIEB (1993).

* Efficience de l'eau : exprimé en kilogrammes de coton graine récolte par mm d'eau consommée et par hectare.

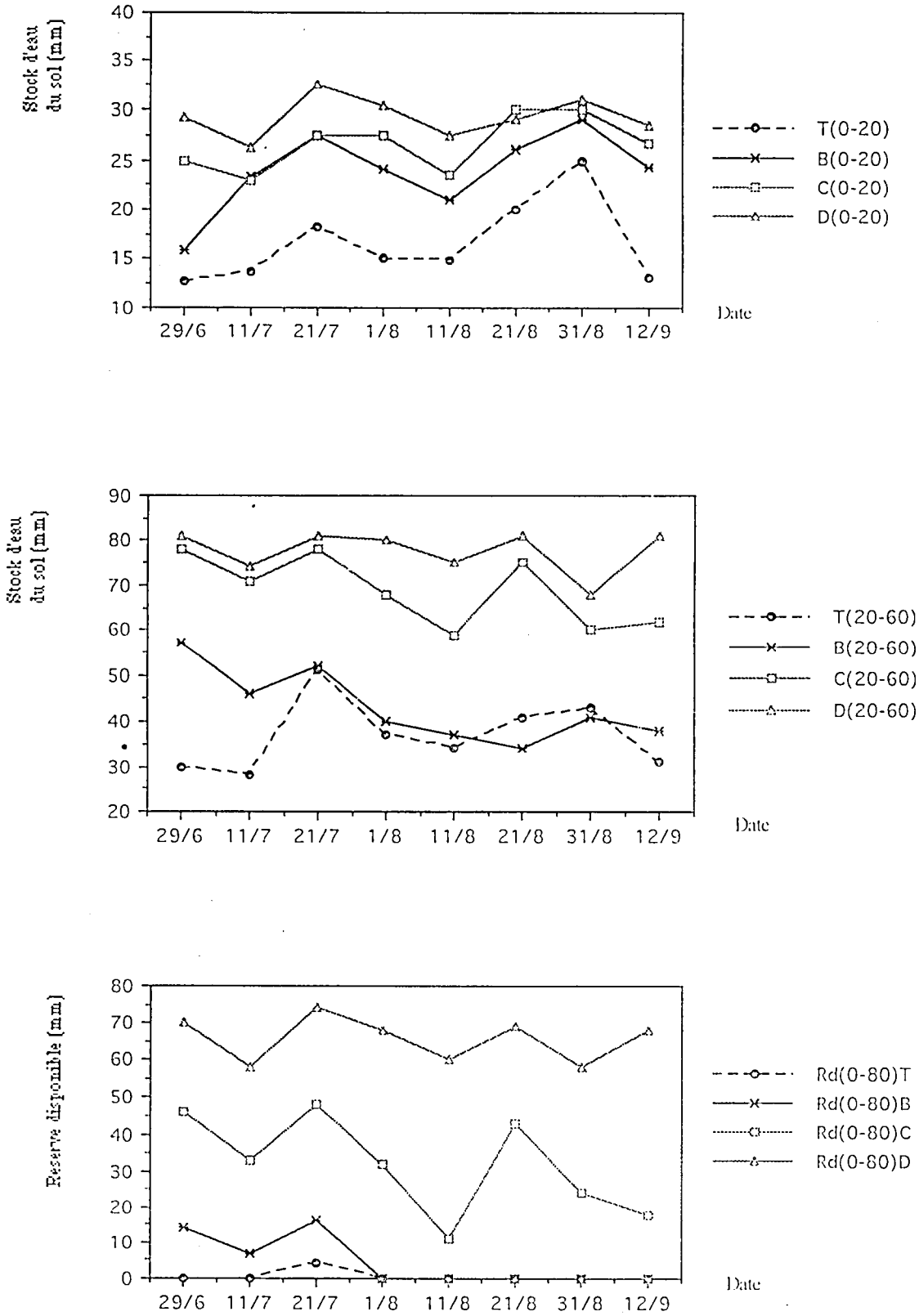


Figure 5:Evolution saisonnière du stock d'eau du sol (couche 0-20 et 20-60 Cm de profondeur) et de la réserve disponible(couche 0-80Cm de profondeur)

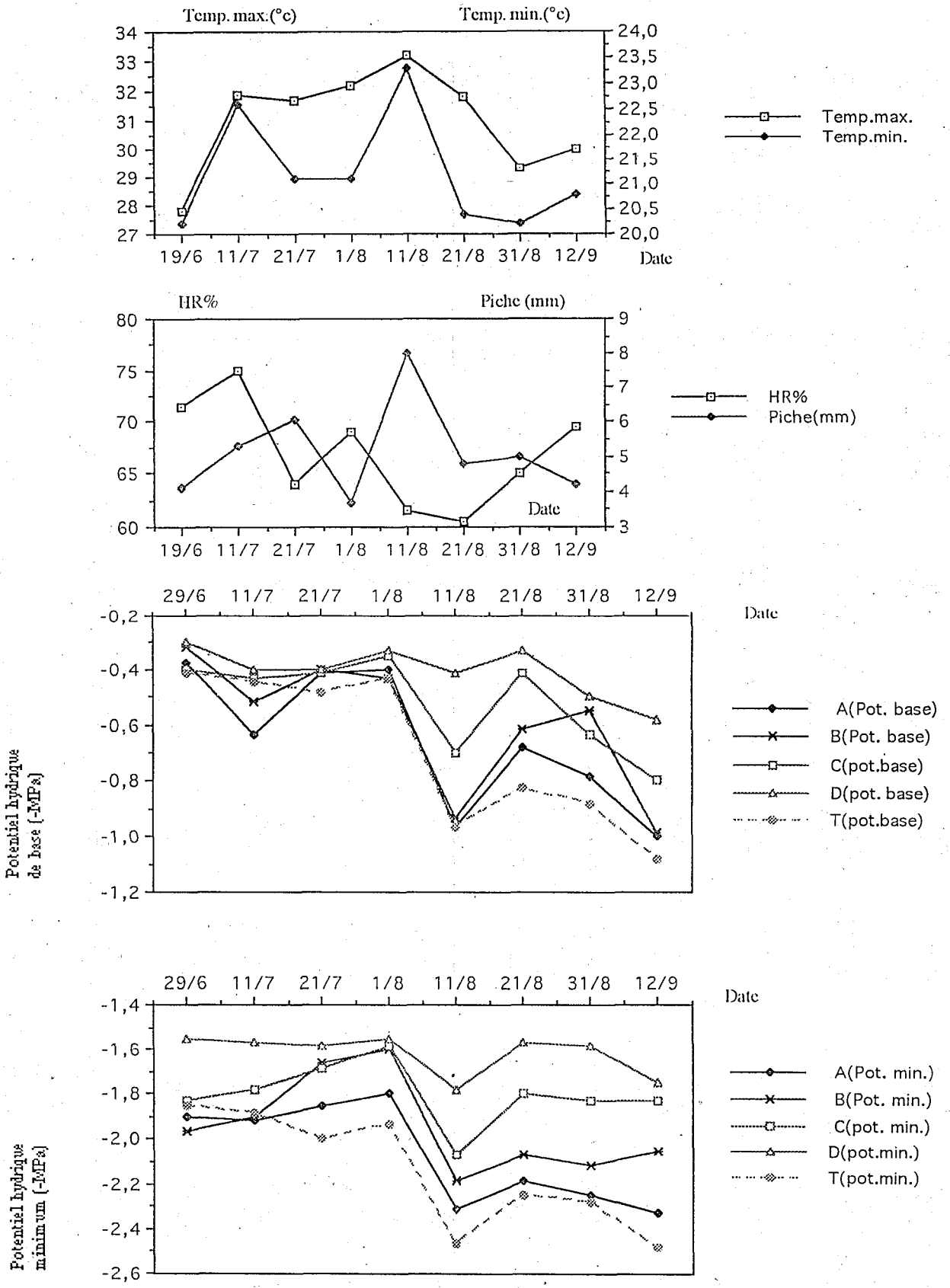


Figure 6: Evolution des paramétres climatiques, du potentiel hydrique foliaire de base et du potentiel minimum

CONCLUSIONS

* L'impact favorable des eaux usées traitées sur la phénologie du cotonnier peut être expliqué par la teneur élevée de ces eaux en éléments fertilisants (N, P, K) pr rapport à l'eau de puits.

* Le meilleur rendement (4,25 t/ha) est obtenu vec le traitement D (992 mm) contre 3,32 t/ha pour celui de A (425 mm). Ce léger surplus de production de la dose d'irrigation 992 mm ne doit pas masquer les risques qui peuvent affecter l'environnement (sol, nappe) suite à l'application des quantités excessives d'eau usée traitée. La dose A présente en plus de l'économie d'eau une meilleure efficience hydrique. Par conséquant, cette dose pourrait inciter à une extension de la superficie occupée par la culture cotonnière.

* Les résultats obtenus, dans le cadre de nos expériences, vérifient pour le cotonnier que le potentiel hydrique de base (Ψ fb) reflète le stock hydrique du sol. En revanche, le potentiel minimum (Ψ fx) est fortement conditionné par la demande évaporative de l'atmosphère.

* Les variations saisonnières des potentiels de base et minimum renseigne sur la demande en eau du cotonnier, permettant de distinguer deux périodes critiques dans le cycle de la plante :

- La première s'étale de la levée jusqu'à l'ouverture des premières fleurs, au cours de laquelle les valeurs de Ψ fb et Ψ fx sont assez élevées et ne révèlent pas de différences importantes entre les différentes doses d'irrigation. Ceci pourrait s'expliquer par les faibles besoins en eau de la plante.

- La seconde s'étale de la pleine floraison à la maturation des capsules, marquée par une chute des valeurs de Ψ fb et Ψ fx par rapport à la première période. Cette chute est inversement proportionnelle à la dose d'irrigation.

BIBLIOGRAPHIE

ALLANI M., 1993 : Epuration des eaux résiduaires urbaines par lagunage aéré et désinfection par rayonnement U.V. Cas de la station d'épuration de la région de Sfax-Tunisie.

Thèse Academie de Paris. Université Paris VII, 207 p.

CHAIEB M., 1989 : Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone aride tunisienne. Thèse de Doctorat, Université des Sciences Techniques du Languedoc, Montpellier 292 p. Réimprimé sous l'égide de l'IRA Médenine, CNRS Montpellier et l'ORSTOM - Paris.

CHAIEB M., 1993 : Réponse écophysiologique de trois graminées pérennes soumises à des conditions écologiques contrastées en milieu aride de Tunisie. Thèse ès Sciences, Faculté des Sciences de Sfax, 238 p.

DAY A. D., SWINGLE R. S., TUCHER T. C. and CLUFF C.B., 1982 : Alfalfa hay grown with municipal waste water and pump water. J. Environ. Qual., 11, 1, 23-24.

GHARBI A., FERCHICHI M., 1991 : La réutilisation des eaux usées. Stratégie pour le développement des ressources en eau en Tunisie. Actes de la 9ème Journée des Ressources en Eau, 98 p.

HENCHI B., 1987 : Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de Plantago albicans L. Thèse ès Sciences, Faculté des Sciences de Tunis, 314 p.

IBRAHIM M. M., 1979 : Recherche sur la dynamique et le bilan de l'eau d'un écosystème à Pin pignon (Pinus pinera L.) sur sable dunaire. Thèse U.S.T.L, Académie de Montpellier, 273 p.

MEZGHANI I., 1994 : Effet des eaux usées traitées sur le comportement biologique du cotonnier (Gossypium hirsutum L.) DEA. Faculté des Sciences de Tunis, 84 p.

OURCIVAL J. M., 1992 : Réponses de deux Chaméphytes de la Tunisie présaharienne à différentes contraintes et perturbations. Thèse de doctorat Univ. de Montpellier II Sciences et techniques, 178 p.

PAPADOPULOSI. et STYLIANOUY., 1986 : L'expérience Chyriote dans le domaine de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture. Séminaire maghrébin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture. Tunis 23-26 Avril 27 p.

PARRY G., 1982 : Le cotonnier et ses produits. Collection "techniques agricoles et productions tropicales", 502 p.

REJEB M N., 1992 : Etude des mécanismes de résistance à la sécheresse du Caroubier (Cerotonia siliqua) en Tunisie. Thèse ès Sciences, Fac. Sciences de Tunis, 199 p.

RICHARD G. B., BAHMAN s., ROBIN P. C., COOPER R. C. and RIVIE D., 1987 : Reclaimed water for irrigation of vegetables caten raw. California Agriculture, July-August, 7 p.

Société Le Coton Tunisien, 1985 : Etude d'opportunité de la valorisation des eaux saumâtres et des eaux épurées par le cotonnier. Volume IV, 23 p (Ronéo). Tunis.

GNDA 9162

EFFETS DES EAUX USEES SUR LA PRODUCTIVITE ET LA NUTRITION DE QUELQUES PLANTES CULTIVEES

BIZID Essia*, ZID Ezzeddine*, HAJJI Mokhtar*,, SLAMA Frej, GRIGNON Claude*****

(*) Faculté des Sciences de Tunis

(**) Institut National Agronomique de Tunis

(***) ENSA/INRA Montpellier.

RESUME

Afin d'évaluer les effets des eaux usées sur des productions maraîchères, fourragères et industrielles, deux expérimentations ont été conduites avec des eaux d'irrigation de qualités différentes : deux eaux de puits, une eau usée de la station d'épuration de l'ONAŞ du Sud Meliane (Radès) et une eau usée provenant du traitement secondaire de la station d'épuration pilote de l'INAT. La première expérimentation a été réalisée en pots de végétation sous abri, la seconde sur une parcelle expérimentale de l'INAT.

Les analyses chimiques des eaux utilisées, ainsi que les observations morphologiques, les mesures de production de biomasse et la détermination des contenus ioniques des plantes ont montré que :

a) pour les cultures en pots (tomate, laitue et luzerne), l'eau usée exerce une action dépressive sur la croissance des organes végétatifs surtout à cause de sa richesse en NaCl. Aucun symptôme de toxicité spécifique, tel que nécrose localisée, n'est observé. Cela suggère que seuls des déséquilibres nutritionnels sont en cause.

b) pour la culture en plein champ (cotonnier), aucun critère de croissance, production ou contenu ionique, ne permet de distinguer les plantes irriguées à l'eau usée des plantes témoins irriguées avec l'eau de puits. L'alimentation minérale des plantes est dans les normes habituelles. La fructification est normale et très bien synchronisée.

En conclusion, les eaux usées semblent utilisables pour l'irrigation sans risques majeurs pour les cultures, au moins à court terme. L'absence d'effets à long terme sur la parcelle irriguée reste à vérifier avec des expérimentations de plus longue durée.

Mots Clés : eaux usées, métaux lourds, NaCl, tomate, laitue, luzerne, cotonnier.

INTRODUCTION

L'alimentation en eau potable des populations humaines est devenue une préoccupation mondiale. Elle représente, sur le plan des ressources, le souci majeur de nombreuses nations. L'accroissement démographique et l'élévation du niveau de vie conduisent inéluctablement à une situation de pénurie d'eau. Le problème de l'eau est à l'heure actuelle loin d'être résolu. Il est d'autant plus important pour les pays dont le climat est aride. En première urgence, l'accent est mis aujourd'hui sur la préservation des ressources en eau douce, la réglementation de leur emploi, et la réutilisation des eaux usées qui permettrait d'accroître les ressources en eau disponibles. Actuellement les eaux usées sont réutilisées à différentes fins. Dans certains cas, elles constituent une ressource, tandis que dans d'autres, c'est la protection de l'environnement qui prime.

En Tunisie, en raison de la rareté des ressources en eau dans certaines régions, on tente d'économiser l'eau potable en épurant les eaux usées, en vue d'une valorisation de la production agricole (Rejeb 1990). Depuis 1980, on s'est orienté d'une façon déterminée vers leur utilisation en agriculture, en adoptant une politique soutenue de création de périmètres irrigués autour des grandes agglomérations. La réutilisation des eaux usées traitées affronte cependant certaines réticences d'ordre psychologique, agronomique et sanitaire. La présence de polluants organiques et minéraux dans l'eau engendre le développement de microorganismes dont certains peuvent être pathogènes, et créer de graves maladies pour ceux qui la consomment. Cela justifie la recherche de nouvelles méthodes pour préserver la qualité de l'eau en vue de sa réutilisation en agriculture, notamment pour les cultures fourragères, céréalières, industrielles, et surtout en arboriculture.

Les risques entraînés par l'irrigation à l'eau usée sur la croissance des plantes, ainsi que sur la qualité de la production, restent sous l'influence de trois catégories d'agents nocifs : détergents et pesticides, nitrates, nitrites et phosphates, et enfin métaux lourds. Ces derniers sont généralement accumulés dans les racines, mais peuvent aussi être véhiculés par la sève brute jusqu'aux feuilles. Les organes végétatifs sont donc les plus exposés à l'accumulation de ces métaux (Foy et al. 1978, Baker 1981 et 1987, Koeppe 1981).

Dans ce travail, nous nous sommes proposés d'étudier l'effet de l'irrigation avec des eaux usées urbaines sur la croissance et le rendement de plantes d'intérêt économique, pour répondre à deux questions importantes : *(I) l'irrigation avec une eau usée limite-t-elle la productivité de la culture ? (II) la qualité de la production est-elle affectée par cette irrigation ?* A cet effet, deux expérimentations ont été conduites. La première a été menée sous-abri sur des plantes à forte demande en eau (tomate, laitue, luzerne) et dont les parties consommables sont susceptibles d'accumuler d'éventuels agents toxiques. La deuxième expérimentation a été menée au champ, et a porté sur une culture industrielle (le cotonnier) permettant de valoriser l'eau usée sans risque pour le consommateur.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

EXPERIMENTATION SOUS ABRI

Conditions de culture

Des plants de tomate *(Lycopersicon esculentum var. Roma)*, de luzerne (Medicago sativa var. Gabès) et de laitue (Lactuca sativa) ont été cultivés sous un abri en tôles plastiques translucides, dans des pots de 20 cm de diamètre contenant 3 à 4 kg de sol tamisé (maille = 1 mm). Il s'agit d'un sol lourd, riche en fumure minérale provenant d'une parcelle expérimentale de l'INRAT à Mornag.

Pour la tomate et la laitue, les plantules ont été obtenues à partir de semis réalisés au laboratoire sur vermiculite arrosée à l'eau courante. La tomate a été repiquée, à raison d'une plante par pot, au stade 5-6 feuilles, et la laitue au stade 2-3 feuilles à raison de 4 plantes par pot. La luzerne a été semée directement en pot, après inoculation par une souche de *Rhizobium*. Les dates de semis et de récolte, ainsi que la durée des cultures sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : **Calendrier des cultures**

Matériel	Semis ou repiquage	Récolte	Durée de la culture
Tomate	27 mai	19 juillet	7 semaines
Laitue	27 mai	17 juillet	7 semaines
Luzerne	27 mai	18 juillet (1ère coupe) 10 octobre (2ème coupe)	7 semaines 19 semaines

L'arrosage des plantes a été fait manuellement, d'abord un jour sur deux, puis quotidiennement pendant la saison estivale. Deux qualités d'eau ont été utilisées : une eau provenant d'un puits situé sur la parcelle de Mornag (eau témoin), et une eau usée de la station d'épuration de l'ONAS Sud Meliane (Radès). Le pH et la composition ionique de ces eaux sont donnés dans le tableau 2. Les cations majeurs ont été dosés par photométrie de flamme, le chlorure par coulométrie, et les métaux lourds par photométrie d'absorption atomique.

Tableau 2 : Composition ionique des eaux d'arrosage. L'eau usée provient de la station de l'ONAS de Jebel Jeloud, l'eau témoin est celle d'un puits sur la parcelle du Mornag et l'eau de ville est celle de Tunis. Les concentrations sont données en mg l^{-1}.

Eau	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Cl^{-}
Témoin	7,2	233	71	6,8	130	419
Usée	6,8	174	71	37,5	236	1000
Ville	nd	71	30	2,3	76	153

Eau	Zn	Cu	Cd	Pb	Hg
Témoin	0,15	<0,02	0,002	0,055	traces
Usée	0,033	<0,02	0,003	0,050	traces
Ville	nd	nd	nd	nd	nd

nd : non déterminé

Résultats

La tomate :

Le seul effet de l'eau usée est de réduire la croissance des tiges secondaires. Ni la longueur de l'axe principal, ni le nombre d'étages foliaires ne sont affectés. Les productions de fleurs et de fruits, les proportions de fruits sains et de fruits nécrosés sont les mêmes pour les deux traitements (figure 1). La production de biomasse est néanmoins réduite par l'eau usée, au niveau des tiges et feuilles (figure 2). Ces organes présentent des teneurs normales en Ca^{2+} et K^+, mais anormalement fortes en Na^+ et Cl^- (figure 3). La matière sèche et les teneurs ioniques des fruits ne sont pas modifiées, mais il faut noter que ces organes sont encore loin de leur plein développement au moment de l'échantillonnage.

La laitue :

L'eau usée a une action dépressive sur la production de biomasse et sur la teneur en eau des feuilles (figure 4). La teneur en calcium est abaissée, ainsi que la teneur en potassium (bien que l'eau usée soit particulièrement riche en K^+). Les tissus, déjà riches en Na^+ sur l'eau témoin, accumulent davantage cet ion sur l'eau usée (+ 30%). Ceci ne compense pas les baisses des teneurs des autres cations, d'où une diminution de la charge cationique globale (figure 5). Enfin, les teneurs en métaux lourds dans les tissus sont les mêmes pour les deux traitement (tableau 3).

Tableau 3 : Effet de l'eau usée sur l'accumulation de quelques métaux lourds dans les feuilles de la laitue. Les mesures sont faites après 7 semaines de culture. Moyennes sur 53 à 56 plantes. Les valeurs sont exprimées en µg.g-1 MS.

Eau	Pb	Mn	Zn	Cu
Témoin	27	60	54	11
Usée	31	60	49	11

La luzerne :

Sur cette plante, seule la production de matière fraîche a été suivie. L'eau usée entraîne une réduction importante de la biomasse mesurée à la première coupe. Ceci ne correspond pas à une diminution du nombre de plantes par pot, mais à une diminution réelle de la biomasse plante. A la seconde coupe, l'effet dépressif de l'eau usée n'est plus visible (figure 6).

2) EXPRERIMENTATION AU CHAMP

Conditions de culture

La plante choisie est le cotonnier (Gossypium hirsutum L. var. S4). La culture a été conduite dans une parcelle expérimentale de l'INAT, à proximité de la satation d'épuration pilote. La parcelle, d'une superficie voisine de 0,5 ha, a été subdivisée en deux parties égales, l'une irriguée avec l'eau usée de la station d'épuration, l'autre avec une eau de puits (eau témoin). Le tableau 4 donne la composition moyenne de ces eaux en K^+, Ca^{2+}, Na^+ et Cl^- (les métaux lourds n'ont pas été dosés dans les eaux d'irrigation, mais uniquement dans les tissus foliaires). On voit que l'eau usée est 10 fois moins chargée en K^+ que l'eau de puits, mais plus chargée en Ca^{2+}, Na^+ et Cl-.

Tableau 4 : Concentrations moyennes ($mg.l^{-1}$) de quelques ions dans les eaux d'irrigation. Il s'agit des moyennes de 6 prélèvements opérés entre mai et juin.

Eau	K^+	Ca^{2+}	Na^+	Cl^-
Témoin	22	113	236	336
Usée	2,5	196	417	580

Le sol a été préparé par 3 recroisements à l'offset, suivis par un rayonnage tous les 50 cm. Le semis a été effectué le 28 avril, en lignes espacées de 100 cm, par poquets de 5 à 7 graines, tous les 7 à 10 cm sur chaque ligne. La levée a eu lieu le 5 mai, suite à une pluie de 35 mm du 30 avril. L'irrigation a commencé le 15 mai. La culture a reçu 400 mm en 12 irrigations. Six prélèvements de 20 à 30 plantes ont eu lieu les 15 et 30 mai, les 14 et 29 juin, le 14 juillet et le 14 août. La récolte a été effectuée le 19 septembre, alors que le taux d'ouverture des capsules était supérieur à 90%. Le rendement en coton-grain a été estimé à cette date.

Résultats

Seules les productions de biomasse et de coton-grain par plante ont été déterminées. Les deux traitements conduisent à des productions voisines de biomasse aérienne (figure 7). Toutefois, l'irrigation à l'eau usée semble entraîner une légère amélioration de la croissance après deux mois de culture. Les rendements en coton-grain par plante ne sont pas différents : 81,14 g sur eau témoin, et 84,75 g sur eau usée.

Lès teneurs en eau et en ions ont été déterminées sur des feuilles matures (4ème niveau à partir de l'apex) prélevées le 24 juillet. Le choix de ces feuilles à forte transpiration permet d'évaluer l'importation des éléments du sol et de l'eau d'irrigation par la plante. Au moment du prélèvement, les plantes étaient en pleine croissance végétative. Les résultats des analyses d'ions, présentés dans la figure 8, ne font apparaître aucune différence entre les deux traitements. Il en est de même pour l'hydratation des feuilles (résultats non montrés).

Les métaux lourds ont été dosés sur des feuilles sénescentes sensées les accumuler (Waughman et Bellamy 1981). Le tableau 5 donne les résultats de ces analyses. De nouveau, aucune différence n'apparaît entre les traitements.

Tableau 5. Teneurs des feuilles sénescentes en métaux lourds (µg.g-l MS). Moyennes de 20 échantillons ou plus.

Eau	Zn	Mn	Cu	Pb
témoin	10	100	traces	traces
usée	11	105	traces	traces

Aucun des paramètres mesurés (croissance végétative des parties aériennes, rendement en coton-grain, contenu ionique et hydratation des feuilles) n'a permis de différencier les plantes irriguées avec l'eau usée de celles irriguées à l'eau de puits. La composition minérale des plantes est dans les normes habituelles (Martin-prével 1984).

La fructification a été normale et bien synchronisée : 90 % des capsules ont été amenés à s'ouvrir le même jour. D'autres auteurs (Day et al. 1981; Mezghani 1994) ont observé une amélioration de la croissance et du rendement du cotonnier irrigué à l'eau usée.

CONCLUSION

En conclusion, l'eau usée utilisée dans la première expérimentation ne contient pas plus de métaux lourds que l'eau témoin. Elle est surtout chargée en Na^+, Cl^- et K^+. Elle réduit la production de matière sèche des parties aériennes végétatives des trois plantes étudiées. Elle n'entraîne pas l'enrichissement des tissus en métaux lourds. Par contre, elle charge les tissus en Na^+ et Cl^-, et provoque éventuellement une perturbation dans la distribution des ions majeurs. Le fait que le développement des plantes (nombre d'étages foliaires, de fleurs et de fruits) ne soit pas affecté, et qu'aucun symptôme spécifique de toxicité (nécroses localisées, déformation des axes) n'apparaisse, suggère que seuls des déséquilibres nutritionnels sont en cause. L'eau usée délivrée du traitement secondaire de la station d'épuration expérimentale de l'INAT (deuxième expérimentation) semble utilisable pour l'irrigation d'une culture industrielle, au moins à court terme. L'absence d'effets à long terme sur la structure du sol et le rendement des cultures reste à vérifier.

REFERENCES BIBLIOGRPHIQUES

Baker AJM 1981. Accumulators and excluders. Trategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutri. 3, 643-654.

Baker AJM 1987. Metal tolerance. New phytol. 106, 93-111.

Day AD, Mc Fadayen JA, Tuker TC, Cluff CB 1981. effets of municipal waste water on the yield and quality of cotton. J. Environ. Qual. 10, 47-49.

Foy CD, Chaney RL, White MC 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 511-566.

Koeppe DE 1981. Lead understanding the minimal toxicity of lead in plants. In : Effets of heavy metal pollution on plants. Vol. 1. Effets of trace metals on plant function. Lepp NW ed. Appl. sci. Publ. London and New Jersey. 55-76.

Martin- Prével P. Gagnard J. Gautier P 1984. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Lavoisier éd. Paris. 810 p.

Mezghani I 1994. Effets des eaux usées traitées sur le comportement biologique du cotonnier Gossypium hirsutum L. DEA d'Ecologie végétale. FST. 84 p.

Rejeb S 1990. Effets des eaux usées traitées et des boues résiduaires sur la croissance et la composition chimique de quelques espèces végétales. Thèse 3ème C. Physiologie Végétale. FST. 153 p.

Waughman GJ, Bellamy DJ 1981. Movement of cations in some plant species prior to senescence. Ann. Bot. 47, 141-145.

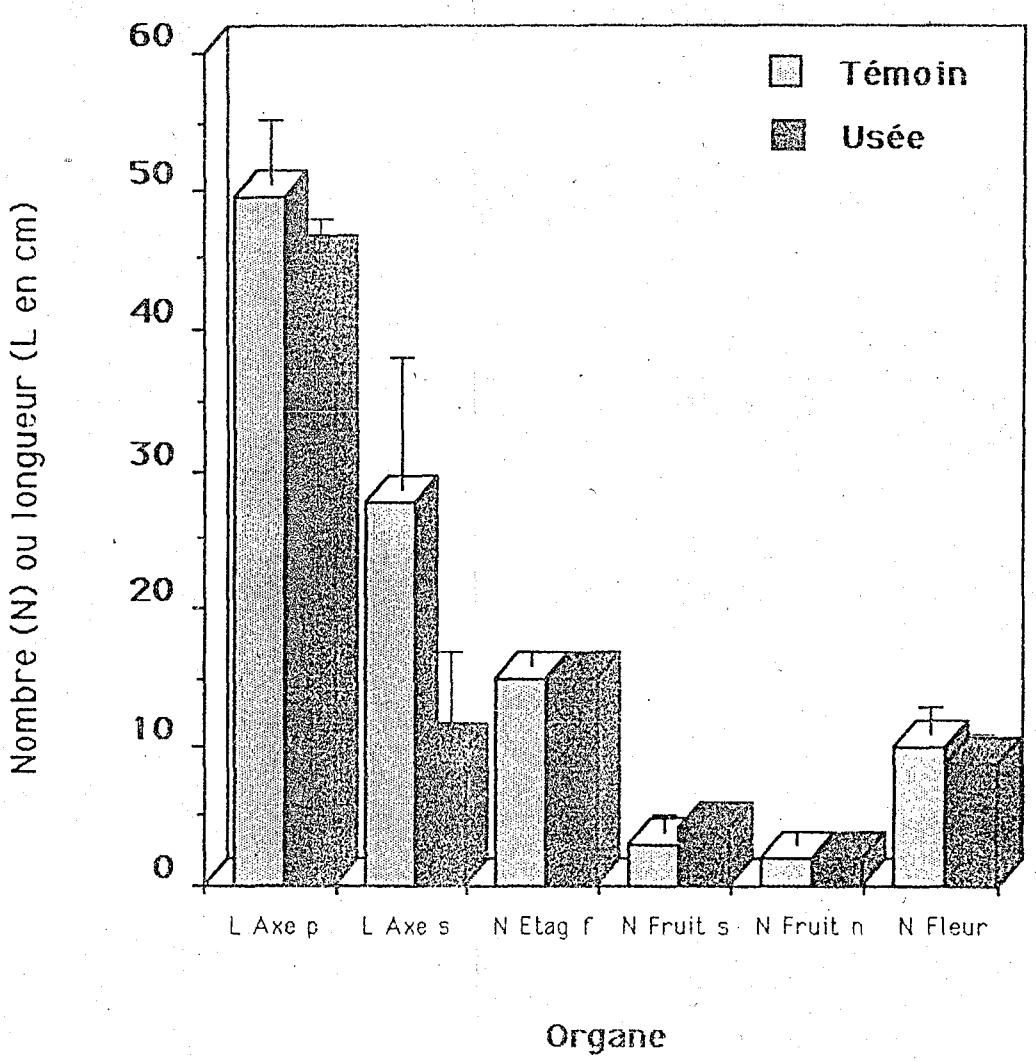


Figure 1 : Effet de l'eau usée sur la croissance et le développement de la tomate. les mesures sont faites après 7 semaines de culture sur : Axe principal (p), Axe secondaire (s), Etage foliaire (f), fruit sain (s), Fruit nécrosé (n) et Fleur. Moyennes et intervalles de sécurité au seuil de 95 % .

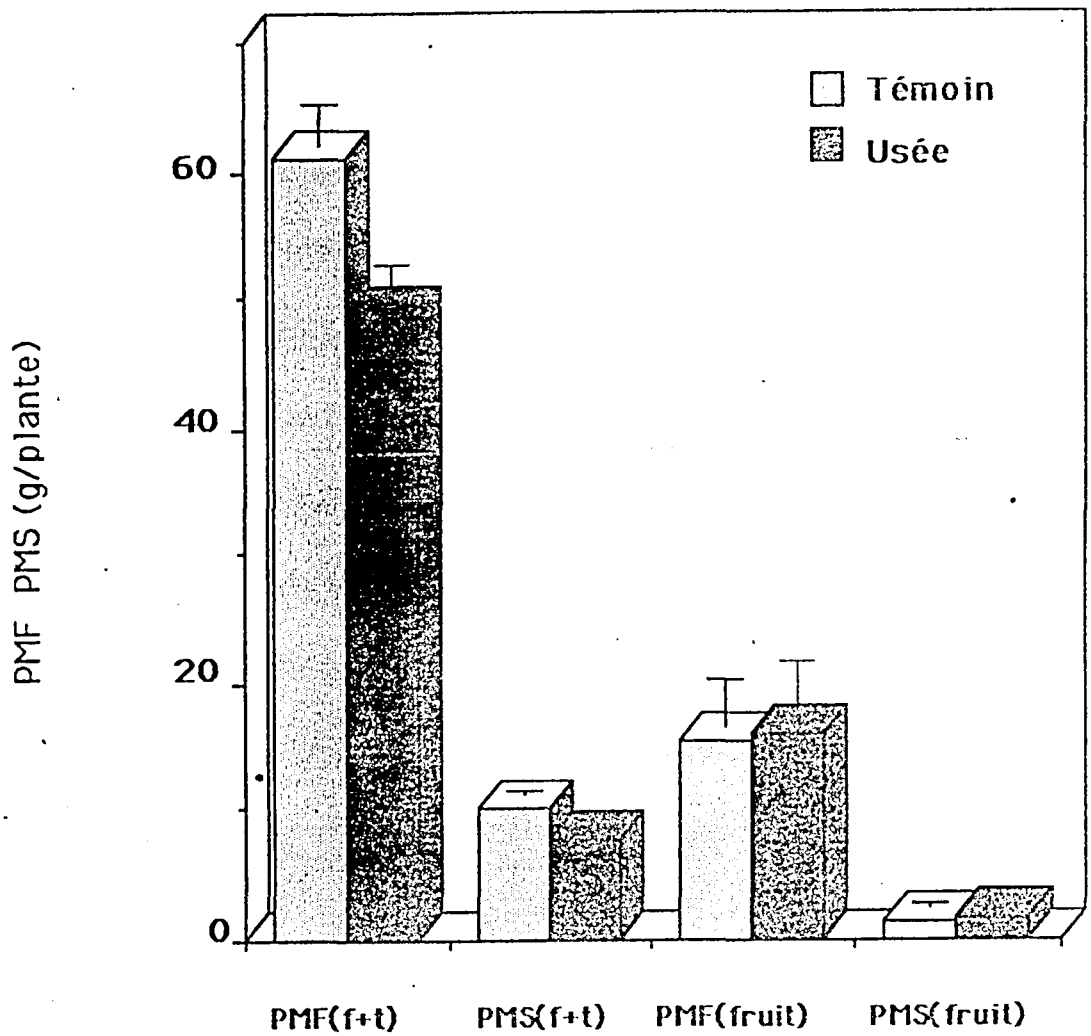


Figure 2 : Effet de l'eau usée sur la production de matière fraîche (PMF) et de matière sèche (PMS) des feuilles et tiges (f + t) et des fruits chez la tomate . Les mesures de biomasses sont faites après 7 semaines de culture . Moyennes de 20 à 21 plantes . Intervalles de sécurité au seuil 95 % .

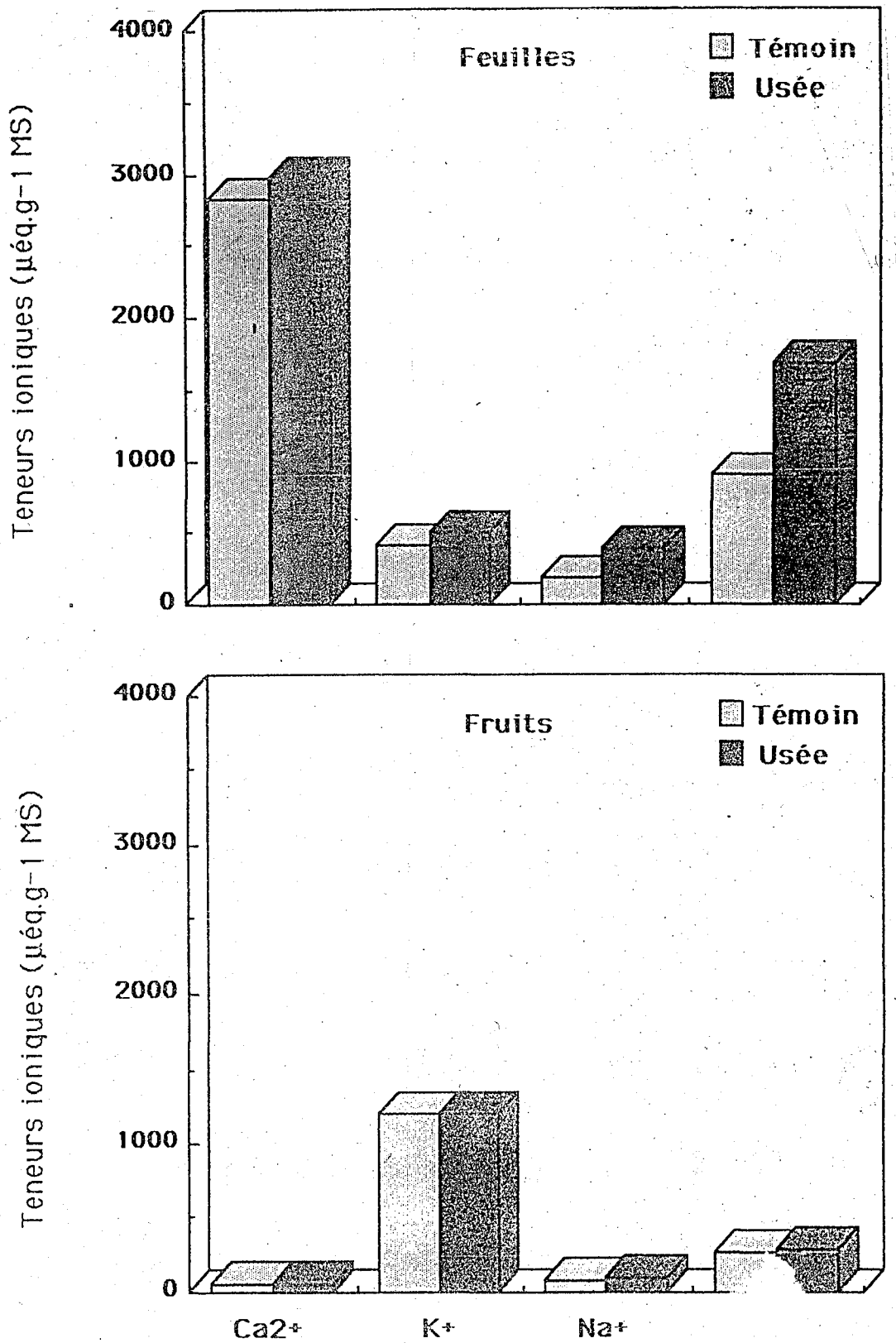


Figure 3 : Accumulation des ions dans les feuilles et les fruits de la tomate arrosée avec une eau de puits (témoin) et une eau usée . Moyennes de 20 à 21 plantes .

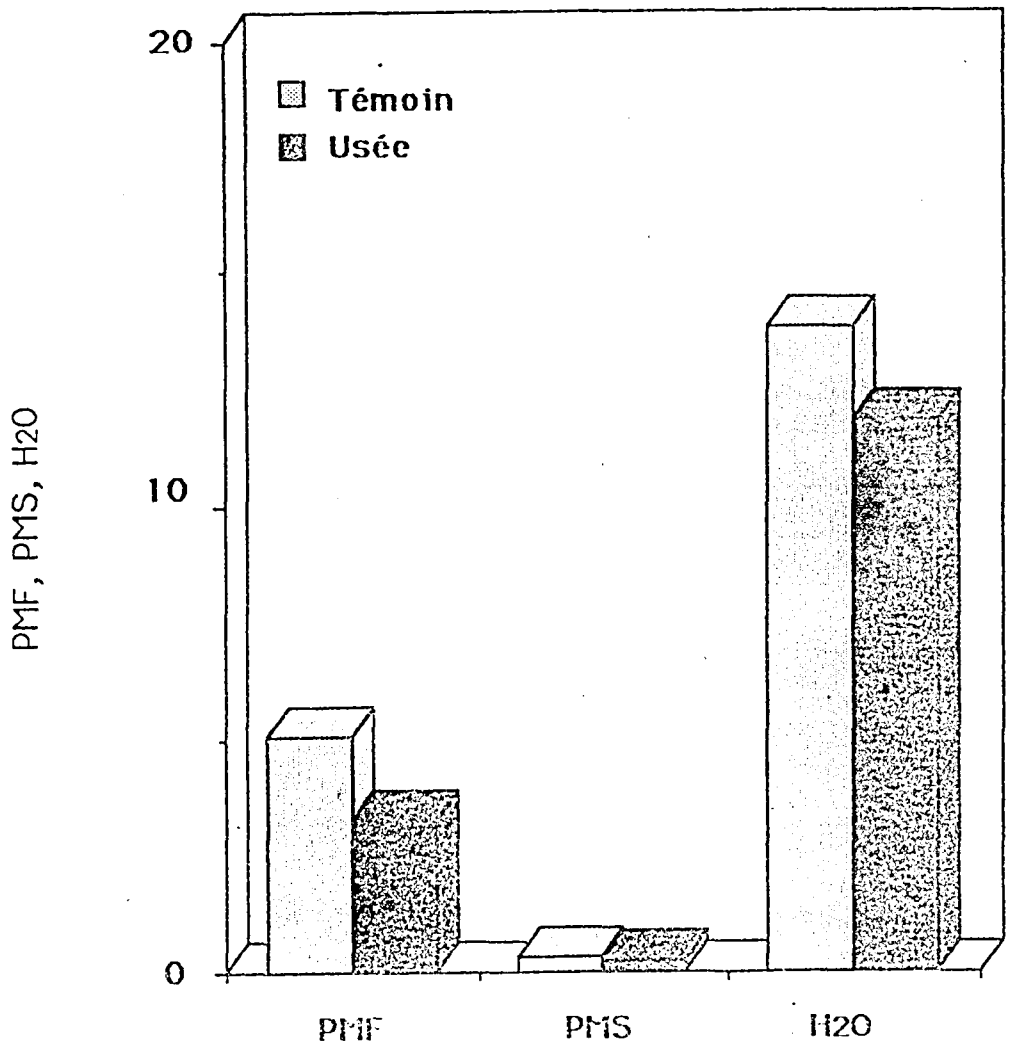


Figure 4 : Effet de l'eau usée sur la production, en g/plante, de matière fraîche (PMF), de matière séche (PMS) et la teneur en eau (H20) en ml/g de MS, des feuilles, chez la laitue .

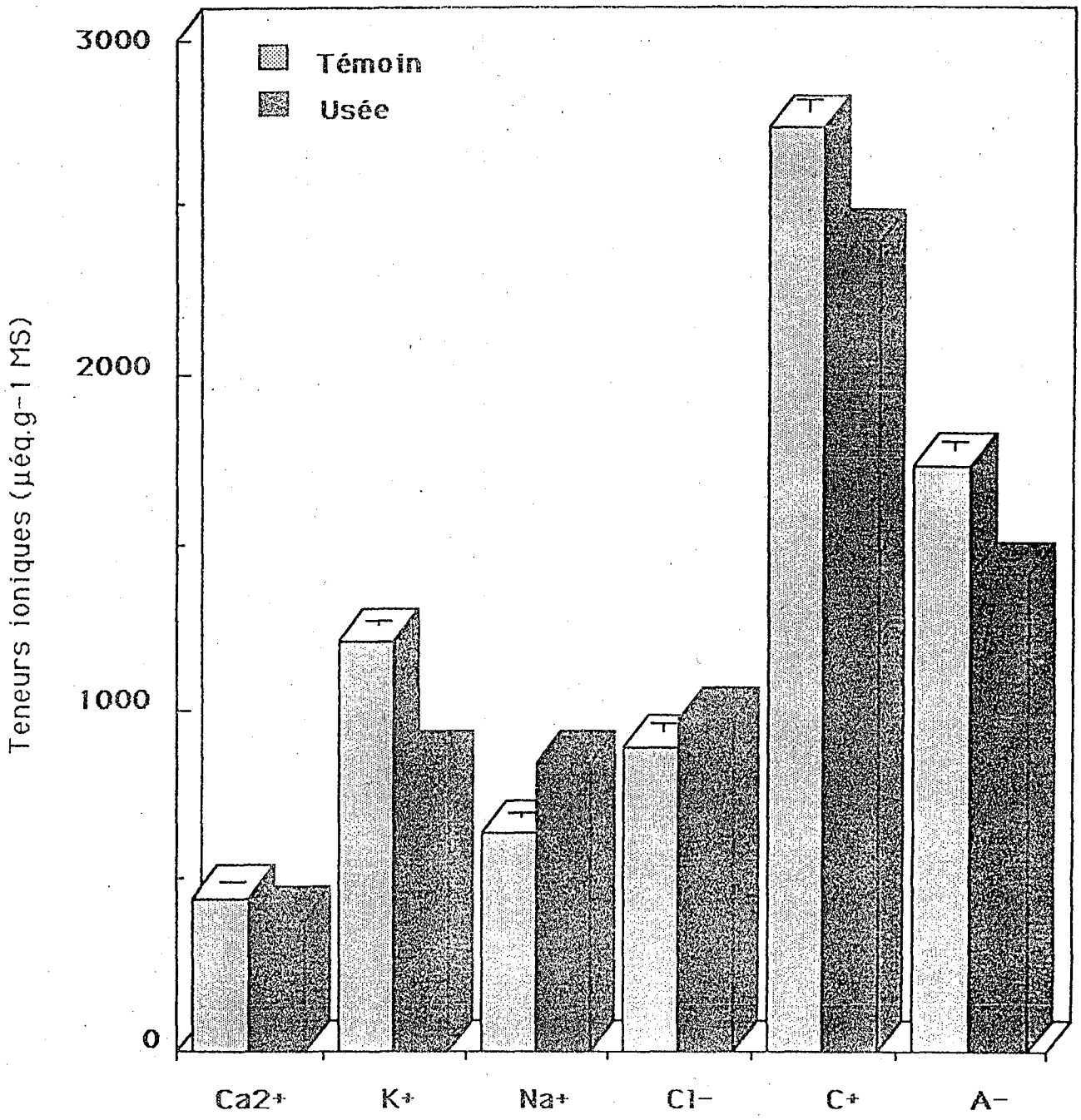


Figure 5 : Effet de l'eau usée sur l'accumulation des ions dans les feuilles de la laitue. Les mesures sont faites après 7 semaines de culture. Moyennes de 53 à 56 plantes.
C+ = Ca + K + Na ; A - est une estimation des anions organiques et minéraux autres que Cl - et NO3 - .

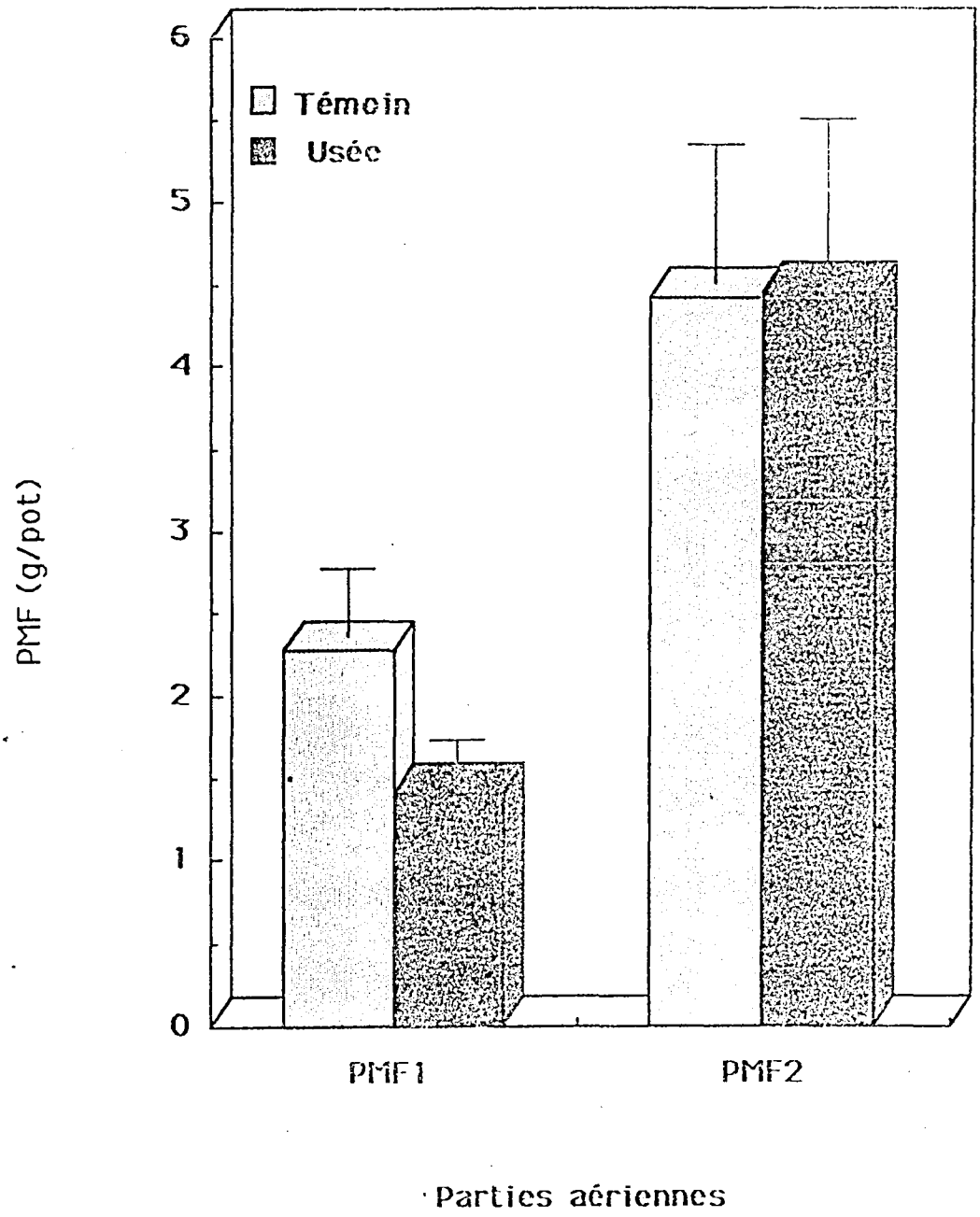


Figure 6 : Effet de l'eau usée sur la production, en g/pot, de matière fraîche des parties aériennes, chez la luzerne. Deux coupes ont été faites, aprés 7 semaines (PMF 1) et 19 semaines (PMF 2) de culture . Moyennes de 36 à 49 plantes et intervalles de sécurité au seuil 95 % .

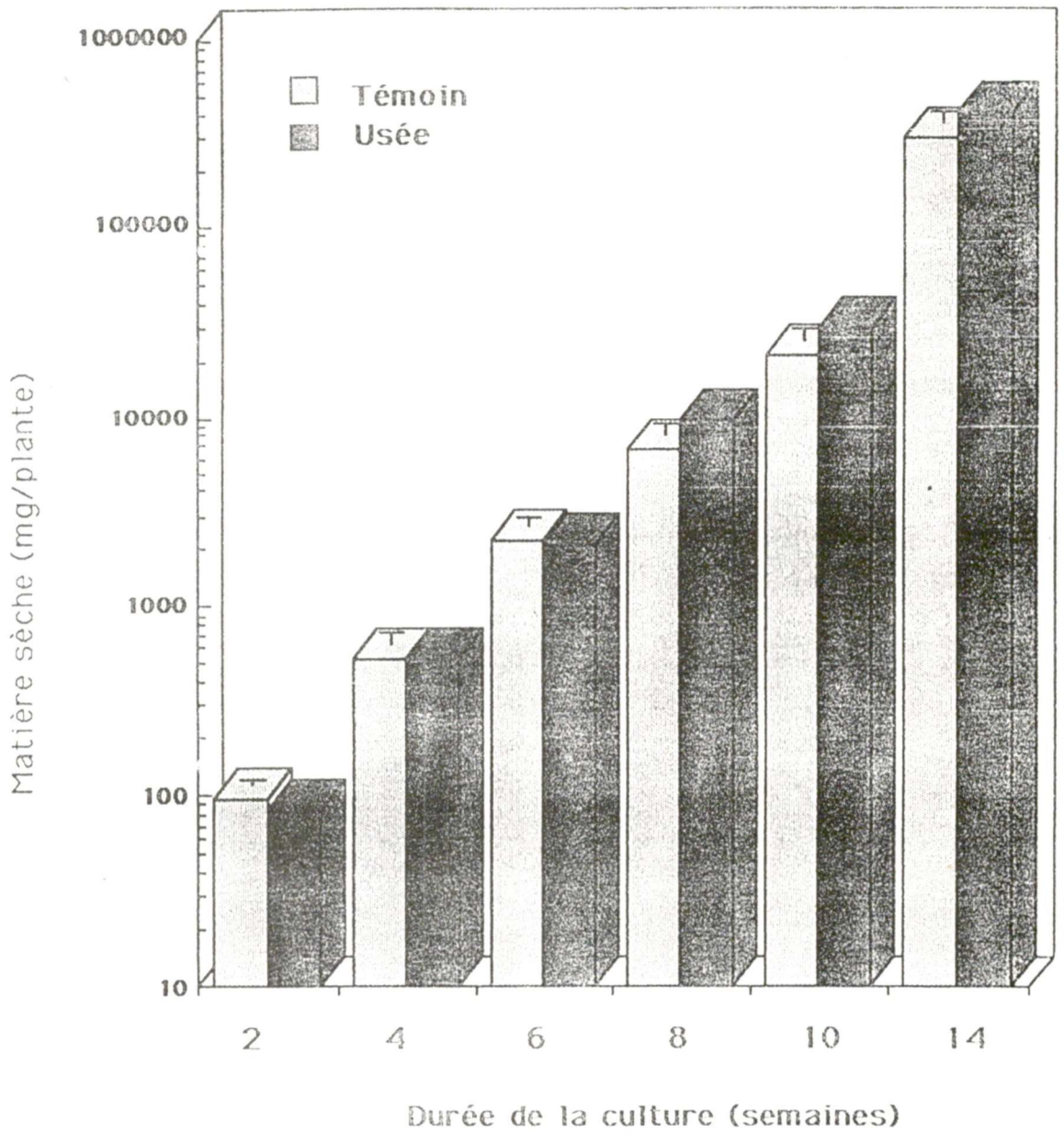


Figure 7 : Poids de matière sèche des parties aériennes (mg par plante) du cotonnier irrigué ave une eau de puits (témoin) et une eau usée . Moyennes de 20 à 30 individus et intervalles de sécurité au seuil 95 % .

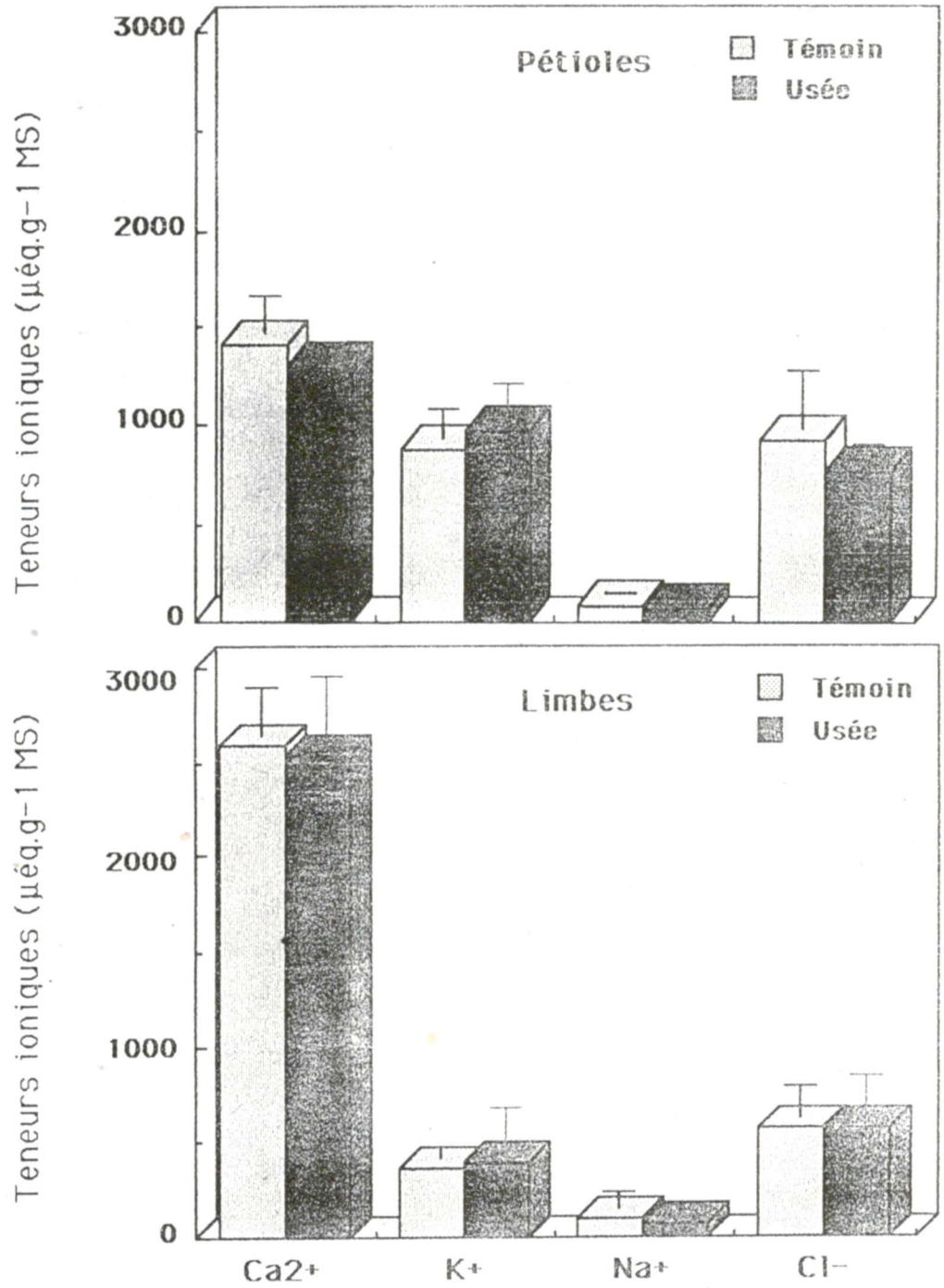


Figure 8 : Effet de l'eau usée sur l'accumulation des ions dans les feuilles (limbes et pétioles) du cotonnier . Les feuilles du 4ème niveau à partir de l'apex sont prélevées le 24 juillet aprés 70 jours d'irrigation . Moyennes de 100 à 120 individus et intervalles de sécurité au seuil 95 % .

REPONSES DE LA TOMATE AUX EFFETS DE DIFFERENTES DOSES DE CADMIUM DANS LE MILIEU

A. EL ALAMI *, M.H. GHORBEL *, E.ELFERJANI** & S.REJEB ***

* Faculté des Sciences Campus Universitaire, El Manar I. 1060 Tunis .

** Faculté des Sciences - 7021 Jarzouna. Bizerte .

*** Centre de recherche du génie rural, Rue Hédi Karray-B.P. 10 - Ariana - 2080 - Tunis .

RESUME

L'effet de différentes concentrations de cadmium sur la tomate (Lycopersicum esculentum) cultivée en salle conditionnée a été examiné .

Chez la variété de tomate que nous avons étudiée (IBIZA F1) , les principales manifestations d'ordre phénologique qui caractérisent sa réaction à l'augmentation de la concentration du cadmium dans son milieu de culture sont les suivantes :

* au niveau du systéme racinaire, il y a stimulation progressive de la croissance jusqu'à une concentration externe de l'ordre de 25 µM .

* Par contre, au niveau des organes aériens, une nette diminution de la croissance est enregistrée dès que la concentration excède 10 µM .

La distribution du cadmium dans la plante montre que les racines retiennent à leur niveau une fraction importante de ce polluant et que la majeure partie du cadmium accumulée dans cet organe, est à localisation endocellulaire .

Le fractionnement par filtration sur gél (G50) d'extraits racinaires a révélé la présence d'un peptide de faible poids moléculire d'environ 25 KDa qui pourrait correspondre à une phytochélatine . Ce peptide est capable de fixer le Cd en établissant avec ce dernier des liaisons de coordination de type thiolate au niveau des groupements thiols .

1- Introduction

Le cadmium est un métal trace non essentiel, connu par ses effets directs ou indirects sur plusieurs processus physiologiques,tels que l'interférence avec la photosynthèse, la transpiration, la respiration, l'integrité des membranes et organites cellulaires et la perturbation du fonctionnement de plusieurs enzymes (Costa et al., 1994, Ouariti et Ghorbal., 1993 Van Assche et Clijsters ., 1990, Vallee et Ulmer., 1972, Baszynski et al., 1980, Barcelo'et al., 1988, Rose et al., 1990) .

Sur le plan physiologique, plusieurs mécanismes non exclusifs l'un de l'autre, peuvent être mis en place pour permettre à la plante de supporter les métaux lourds se trouvant en excès dans le milieu . La production d'une famille de peptides riches en groupements thiols chez les plantes traitées par différents métaux lourds est l'une des plus importantes stratégies de défense développées par les plantes (Steffens et al., 1986) . Ces peptides appelés phytochélatines (Grill et al., 1985) ont une structure générale : (y- Glu-Cys) n-Gly (n = 2 à 11) (Reese et al.,1992, Grill et al., 1987, Jackson et al., 1987) La présence de liaisons y-carboxymide suggère que ces peptides ne sont pas les produits d'un gène structural, mais sont plutôt, les produits d'une voie biosynthétique (Jackson et al., 1987). De nombreux travaux ont montré que le glutathion (GSH) ou son précurseur (y-Glu-Cys) sont des substrats de la synthèse des phytochélatines (Jackson et al., 1992 et 1987, Scheller et al., 1987) . Cette hypothèse est soutenue par le fait que : (i) la

butionine sulfoximine (BSO) (inhibiteur spécifique de la synthèse de la y-glutamylcystéine synthétase) inhibe également la synthèse des phytochélatines (Grill et al., 1987) , (ii) la cycloheximide (inhibiteur de la synthèse protéique) n'a aucun effet sur la production des phytochélatines induites par le Cd qui est accompagnée par une chute rapide de la teneur de GSH (Jackson et al., 1992) .

Ces peptides sont capables de fixer les métaux lourds par des coordinations thiolates. Plusieurs arguments témoignent sans doute des fonctions protectrices de ces oligopeptides contre les effets cytotoxiques des métaux lourds : (a) les phytochélatines sont produites chez plusieurs organismes biologiques (bactéries, champignons, algues et plantes supérieures) traités par différents métaux lourds (Basu et al., 1994, Reddy et Prasad., 1989, Reese et al., 1988, Higham et al., 1984), (b) elles sont présentes à un faible niveau constitutif, mais une augmentation rapide de leurs teneurs est enregistrée lors de l'addition des métaux lourds (Robinson et al., 1988) (c) la BSO seule, n'a aucun effet inhibiteur sur la croissance des cellules de tomate, mais combinée avec le Cd, elle confère une sensibilité aux cellules résistantes (Steffens et al., 1986) et (d) la synthèse rapide de ces oligopeptides en réponse à l'application des métaux lourds dan le milieu de culture (Robinson et al., 1988).

L'objectif de notre travail, consiste à l'étude de la réponse de la tomate aux effets cytotoxiques du Cd.

2 - MATERIEL ET METHODES

Les graines de tomate sont mises à germer à l'obscurité et à 25° C dans des boîtes de Pétri sur papier filtre imbibé d'eau distillée. Les plantules âgées de 6 jours, sont repiquées sur des sceaux en plastique de 6 litres à raison de 5 plantes par sceau. Elles sont alimentées par une solution nutritive de base aérée contenant : 2 mM KNO_3, 2.5 mM Ca $(NO_3)_2$, 1 mM $MgSO_4$, 1 mM KH_2PO_4, ainsi que des oligo-éléments (Mn, Zn, Cu, B, Mo et Fe). Les cultures sont conduites en salle de culture conditionnée où la photopériode est de 16 heures, l'intensité lumineuse au niveau des plantes est d'environ 150 $\mu M.m^{-2}.s^{-1}$ et la température est maintenue entre 25 et 30°C. Le contenu des sceaux est complètement renouvelé deux fois durant 12 jours avant de subir tout traitement.

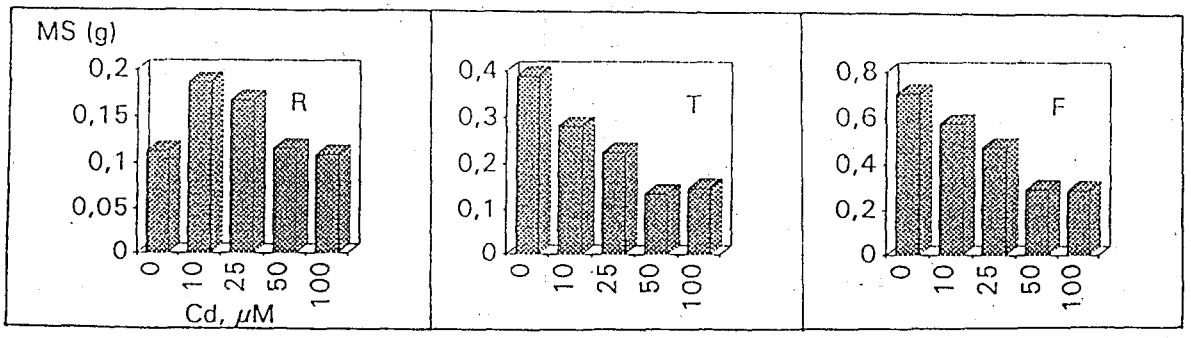
Au 13ème jour du repiquage, les plantules de tomate, sont transférées sur des milieux enrichis en Cd (0, 10 µM, 25 µM, 50 µM 100 µM $Cd(NO_3)_2$), la durée du traitement est de 8 jours, la solution est renouvelée 2 fois. Au terme de la culture, les plantules sont prélevées et utilisées selon le cas, pour la détermination de la production de matière sèche, le dosage de Cd et extraction protéique. Pour l'extraction protéique, nous avons suivi la procédure du Bartholf et al. (1980) avec une légère modifiction. Les racines congelées dans l'azote liquide, sont broyées dans un tampon d'extraction : 50 mM Tris-HCI (pH 7.8) et 5mM d'ascorbate de sodium. L'homogénat est ensuite filtré et le filtrat est centrifugé à 28000 tours/mn pendant 30 mn à 4°C. Le surnageant final est appliqué à une colonne de (70 x 2.6 cm) contenant le gél de sephadex G 50 (Sigma). L'équilibration de la colonne et l'élution de l'échantillon sont faites par le tampon 50 mM Tris-HCI (pH 7.8) Des fractions de 5 ml sont récupérées à l'aide d'un collecteur de fractions.

Le Cd présent dans les fractions collectées est déterminé directement par spectrophotométric d'absorption atomique après addition du HCI (3.7%, v/v). Pour les racines, tiges et feuilles le dosage de Cd par spectrophotométrie d'absorption atomique est fait après attaque nitroperchlorique à chaud.

3 - RESULTATS

a - Production de biomasse :

Les résultats relatifs aux effets du Cd sur la croissance des différentes parties de la tomate (racines, tiges et feuilles) sont illustrés par la figure 1.



ig 1- MS des organes de la tomate cultivée sur des milieux à différentes concentrations de Cd pendant 8 jours. R : racines, T : tiges et pétioles, F : feuilles, MS : masse de matière sèche

La croissance de la partie aérienne (tiges et feuilles) a subi une baisse considérable, fortement dépendante de la concentration de Cd dans le milieu externe. Par contre au niveau du système racinaire, et jusqu'à une concentration de 25 µM une nette stimulation de la production de biomasse est enregistrée. Même pour la concentration la plus élevée (100 µM), la croissance des organes absorbants n'est que légèrement affectée.

b - Absorption et distribution du Cd

L'accumulation du Cd dans les trois principaux types d'organes de la plante traitée (racines, tiges et feuilles) par différentes concentrations de ce polluant pendant 8 jours est montrée par la figure 2.

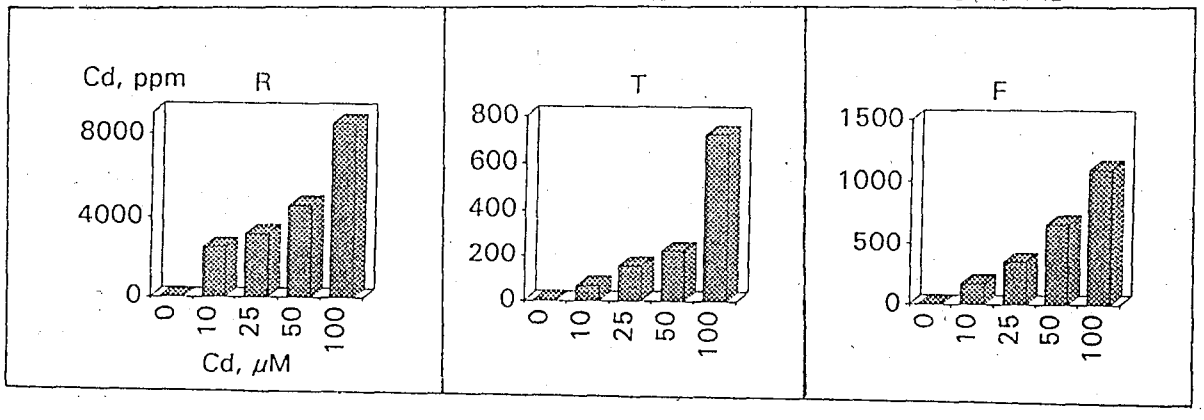


Fig 2- Teneurs en Cd des organes de la tomate traitée par différentes doses de Cd pendant 8 jours. R : racines, T : tiges et pétioles, F : feuilles.

L'analyse comparative de la teneur en Cd dans les racines et les parties aériennes de la tomate montre bien que les racines constituent le siège principal de l'accumulation du Cd. Les tiges et les feuilles en accumulent aussi et leurs teneurs évoluent de façon sensiblement similaire.

Pour mieux illustrer l'importance du système racinaire dans la rétention du Cd, nous avons représenté les résultats précédents en exprimant la fraction de Cd retenue dans les racines en % du contenu total de la plante. Les résultats sont portés dans la figure 3

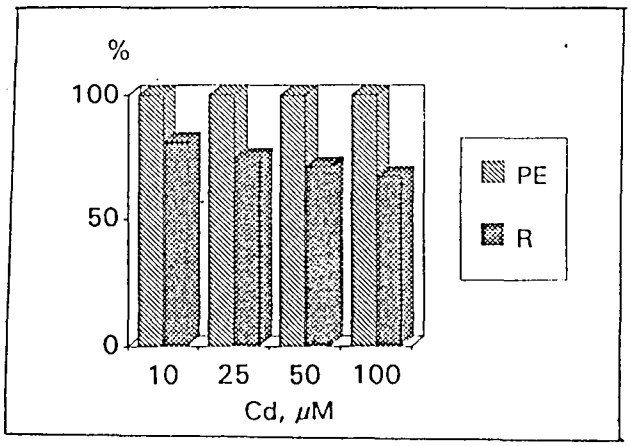


Fig 3- Fraction du Cd retenue dans la racines exprimée en % du contenu total de la plante

On voit bien que pour toutes les doses, les racines contiennent 67 à 81% du Cd total se trouvant à l'intérieur de la plante. La rétention pariétale du Cd n'intervient que pour à peu près 10 % du contenu racinaire (résultat non montré), ce qui suggère que la majeure partie du Cd accumulée dans la racine est à localisation endocellulaire.

c - Mise en évidence de constituants protéiques induits par le Cd

Une séparation typique des extraits racinaires de plantes témoins incubé avec le Cd pendant 30 min à 4° C et de plantes traitées par 50 µMCd sur gel de séphadex G-50 est présentée par la figure 4.

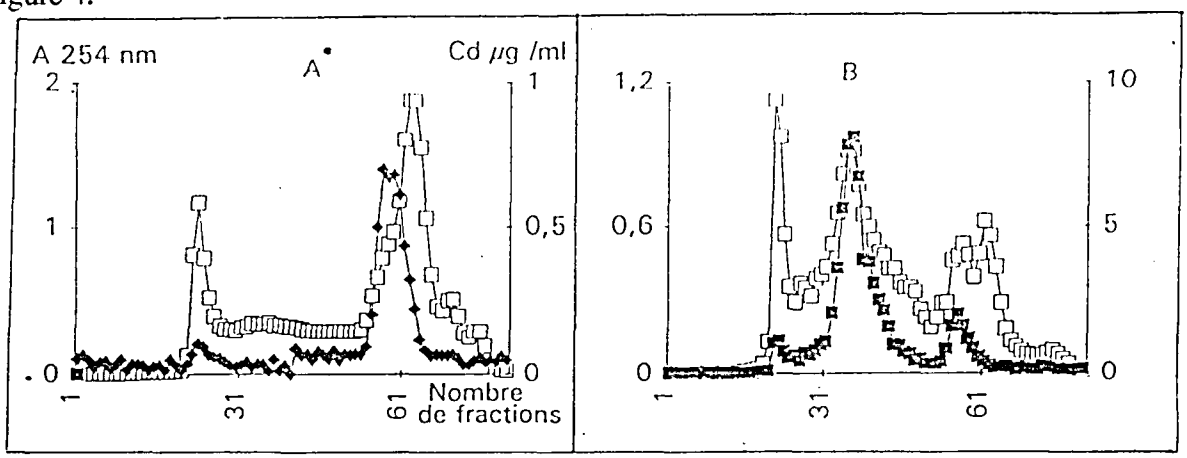


Fig 4- Filtration de l' extrait protéique brut racinaire sur gel de séphadex G-50 , des fraction s de 5ml sont collectées et la DO est lue à 254 nm. A: plante témoin, B: plante traitée.

—□— A 254 —■— Cd µg/ml

Pour les plantes traitées, le profil chromatographique présente un pic de matériel protéique contenant à peu près 72% du Cd total présent dans le surnagent fractionné (fig 4 B). Ce pic est non détecté dans l'extrait enrichi en Cd des plantes témoins (fig 4 A). La partie restante du Cd est associée avec des fractions de faibles poids moléculaires (fig 4 B).

L'augmentation de la concentration du Cd dans le milieu de culture a stimulé la synthèse du

complexe "Cd-peptides" dans les racines des plantes traitées, comme le montre l'évolution de la teneur en Cd dans les fractions des extraits racinaires des plantes traitées par 100 et 10 µM Cd (figures 5).

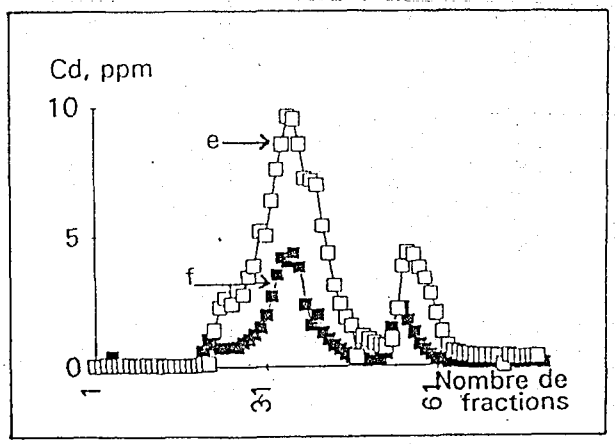


Fig 5- Teneurs en Cd dans les fractions obtenues par filtration sur gel de séphadex G-50 des extraits protéiques bruts racinaires de plantes traitées par 100 (e) et 10 µM Cd (f)

Le poids moléculaire du composé Cd-peptide, est estimé par filtration analytique sur gel de séphadex G-50. Il est à peu près de 25 KDa (figure 6).

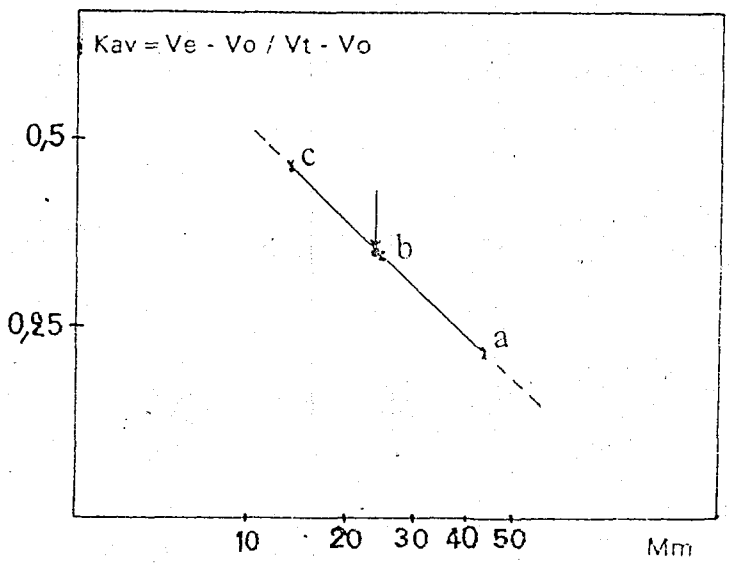


Fig 6- Détermination de la masse moléculaire, de constituants induits par le Cd au niveau des racines de la tomate par chromatographie sur gel de séphadex G-50.
a : Ovalbumine, b : chymotrypsinogène A, c : ribonucléase A, Vo : volume mort Ve : volume d' élution, Vt : volume total de la colonne, Mm : masse moléculaire (KDa), : constituant protéique induit.

4 - DISCUSSION

La forte phytotoxicité de Cd a déjà été signalée dans de nombreux travaux (Trivedi et Erdir., 1992, wong et bradshaw., 1982). L'interprétation des résultats obtenus se complique en raison de la diversité des conditions expérimentales.

La conclusion importante que l'on peut tirer à la lumière de nos résultats est l'existence d'un effet stimulant des faibles doses de Cd (10 et 25 µM Cd) sur la production de biomasse racinaire. Des résultats comparables aux nôtres ont été obtenus par Leita et al. (1991) chez le haricot et Elalami et Ghorbal (1993) chez la tomate.

La stimulation de la croissance racinaire, est non spécifique au Cd. D'autres métaux lourds peuvent induire la même réponse tels que : l'Al chez le Pin et l'Eucalyptus (Huang et Bachelard., 1993), le Cu chez le haricot (Gharbi et Ghorbal., 1994). Mais d'autres auteurs ont noté une réduction de 50 % de biomasse racinaire chez le blé et chez le rye grass traités par 20 et 16,5 µM Cd respectivement (Trivedi et Erdir., 1992, Wong et Bradshaw., 1982).

La distribution du Cd dans la plante, montre que les racines retiennent à leur niveau une fraction importante de ce polluant, allant de 67 à 81% de la quantité totale absorbée. Travaillant sur 23 espèces végétales, Jarvis et al. (1976) ont souligné que la majorité du Cd absorbé est détectée au niveau des racines de 20 espèces parmi les 23 espèces testées. La paroi cellulaire n'intervient que très partiellement dans la rétention du Cd (résultat non montré). L'essentiel du Cd racinaire apparaît, ainsi, à localisation endocellulaire.

La séquestration du Cd dans le cytosol par l'intermédiaire d'acides organiques (malate, citrate, glutamate...), ou inorganiques (phosphate, sulfate) ou des peptides a été suggérée comme une stratégie permettant de rendre le métal moins nocif (wang et al., 1991, Krotz et al., 1989).

Plusieurs travaux ont signalé la synthèse de peptides chez de nombreuses espèces végétales en réponse au traitement par le Cd (Steffens et al., 1986, Rauser., 1990).

Dans le cadre de nos expériences, nous avons enregistré l'induction du constituant protéique de faible poids moléculaire (25 KDa) associé au Cd au niveau des racines. Ces résultats sont en accord avec ceux d'autres auteurs, tels que : Leita et al. (1991), Grill et al. (1985), Fujita et Kawanichi (1987). Ces auteurs ont signalé la synthèse de polypeptides appelés phytochélatines chez différentes espèces traitées par le Cd et capables de fixer ce métal par des coordinations thiolates. Nous avons remarqué également que la synthèse peptidique est fonction de la dose de Cd appliquée dans le milieu de culture.

Ces résultats confirment ceux obtenus par Fontes et Cox (1993) chez le

Soja traité par le zinc.

Ces composés "Cd-peptides" ne sont pas détectés au niveau de la partie aérienne (tiges et feuilles) de notre plante traitée (résultats non montrés), ce qui permet d'expliquer la forte capacité de rétention de Cd au niveau des racines comparativement aux autres organes de la plante.

L'isolement, la caractérisation, l'étude de la voie biosynthétique de ces peptides ainsi que sa régulation représentent un volet intéressant pour nos recherches dans l'avoir.

BIBLIOGRAPHIE

Basu A., Basu U. & Taylor G. J., 1994 : Plant. Physiol 104 : 1007-1013.

Barcelo J., Vazquez M. D. & Poshenriedr CH., 1988 : New. Pytol 108 : 37-49

Baszynski T., wajda L., Krol M. Wolinsfa D., Krupta Z. & Turndorf A., 1980 : Physiol. Plant 48 : 365-370.

Bartholf M., Brennan E. & Price C., A., 1980 : Plant. Physiol 66 : 438-441.

Costa G., Michaut J. C. &. Morel J. L., 1994 : Plant. Physiol. Biochem 32 (1) : 105-114.

Cathala N., Ghorbal M. h., Lamant A. & Salsac L., 1978 : C. A. Acad. Paris D. 286: 1025-1027 .

Elalami A., 1993 : DEA . Fac. Sci. Tunis, 84 P.

Fontes R. L. F. & Cox F. R. 1993 : plant. soil 155/156 : 435-436.

Fujita A. M. & Kawanishi T., 1987 : Plant. Cell. Physiol 28(2) : 397-382.

Grill E., Winnacker E. L. & Zenk M. H., 1985 : Science 230 : 674-676.

Grill., Winnacker E. L. & Zenk M. H., 1987 : Pron. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 84 : 439-443.

Gharbi., 1994 : DEA. Fac Sci. Tunis, 81 p.

Huang J. & Bachelard E. P., 1993 : Plant. soil 149 : 121-127 .

Higham D. P., Sadler P.J. & Scawn M.D. 1984 : Science 225 : 1043-1046.

Jackson P. J., Unker C. J., Doolen J.A., Watt k. & Robinson N.J., 1987 : Pron. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 84 : 6619-6623.

Jackson P. J., Delhaize E. & Kusk C. R., 1992 : Plant. soil 146 : 281-289.

Jarvis S. C., Jones L. H. & Hopper L.J. 1976 : Plant. soil 44 : 179-191.

Krotz R. M., Evongelou B.P., & wagner G.J., 1989 : Plant. Physiol 97 : 1154-1160.

Leita L. Contin M. & Maggioni A. 1991 : Plant. Sci 77 : 139-147.

Ouariti O., 1993 : D.E.A. Fac. Sci. Tunis, 94p.

Reese R. W., White C. A. & wing D. R., 1992 : Plant. Physiol 98 : 225-229.

Reddy G. N. & prasad M. N., 1989 : Sci 58 : 1380-1382.

Ros R., Cooke D. T., bvrden R. S. & James C. S., 1990 : J. Exp. Bot 41 (225) : 457-462.

Reese R. W., winge D. R., 1988 : J. Biol. Chem 262 : 12832-12835.

Robinson N. J., Ratlif R. L., Anderson P.J., Delhaize E., Berger J. M. & Jackson P.J., 1988 : Plant. Sci 56 : 197-204.

Sheller H. V., Huang B., Hatch E. & Goldsbrough P.B., 1987 : Plant. Physiol 85 : 1031-1035.

Steffens J. C. Hunt D. F. & Williams B. G. 1986 : J. Biol. Chem 261 : 13897-13882.

Trivedi S. & Erdei L., 1992 : Physiol. Plant 84 : 94-100.

Valle b. L. & Ulmer D. D., 1972 : Ann. Rev. Biochem. 41 : 97 - 128.

Vanassche F. & Clijsters H., 1990 : Plant. cell. environ 13 : 195-206.

Wang J., Evangelou B.P., Nielsen M.T. & Wagner G.J., 1991 : Plant. physiol 97 : 1154-1160.

Wong M. H. & Bradshaw A. D. 1982 : New. Phytol 91 : 255-261.

EFFICACITE RELATIVE DES PROCEDES DE TRAITEMENT DANS L'ELIMINATION DE LA CHARGE PARASITAIRE DES EAUX USEES

ALOUINI Zoubeir

Laboratoire de parasitologie des eaux usées et Boues résiduaires CRGR

RESUME :

Les recherches de Kystes de protozoaires et oeufs d'helminthes ont été effectuées sur les eaux brutes et épurées provenant de neuf stations d'épuration utilisant différents systèmes de traitements.

Les résultats obtenus ont permis d'évaluer l'efficacité relative des principaux procédés de traitement dans l'élimination de la charge parasitaires des eaux usées.

En eau d'entrée, tous les échantillons contiennent de Kyste de protozoaires notamment celui de Giardia intestinalis à des concentrations de $1,9810^2$ à $4,1110^2$ Kyste l^{-1}. De façon moins fréquentes, on rencontre des oeufs d'helminthes à des concentrations moyennes de 4 à $1,20\ 10^2$ œufs l^{-1}.

Au cours des filières de traitement aussi bien extensifs qu'intensifs, la majorité des oeufs et Kystes sont éliminés. En eau épurée les rendements d'élimination varient de 89,2 à 100 % pour les Kystes de protozoaire. Par contre 100 % des échantillons de la majorité des stations (78 %) ne renferment plus d'oeufs d'helminthes à l'exception des stations de Sfax et de Choutrana.

Les meilleurs rendement ont été réalisés par les traitements extensifs. On peut donc constater l'efficacité du suivi des éléments parasitaires compte tenu de leur grande résistance pour l'évaluation des systèmes épuratoires.

INTRODUCTION

Face à la demande en eau sans cesse croissante pour les besoins des divers secteurs et compte tenu des limitations hydriques imposées par les conditions naturelles, il a été rendu inévitable le recours à la réutilisation d'une ressource non conventionnelle mais potentielle et dont les volumes ne cessent de s'accroître d'une année à une autre; il s'agit de la réutilisation des eaux usées traitées.

A l'heure actuelle, en Tunisie, la réutilisation de ces eaux pour l'irrigation est en pleine extention. Une attention particulière est portée sur l'aspect sanitaire dans ce domaine.

Le modèle de risque associé à l'utilisation agricole des eaux usées, montre que ce sont les hélminthes intestinaux qui représentent le risque principal (Ascaris, Ankylostome; Trichocéphale...); à un moindre degré les affectations bactériennes et virales. CHUTE et al. (1987), LAPHAM et al (1987), montrent que l'agent pathogène le plus communément identifié aux USA dans les épidémies véhiculées par l'eau est un protozoaire : "Giardia intestinalis".

D'une façon générale ces parasites intestinaux ne peuvent pas se transmettre directement, puisque un temps de latence minimum dans l'environnement, est nécessaire à l'embryonnation des oeufs, leur dose infectante est faible, ce qui les rend aisément transmissibles.

La norme de qualité en vigueur fixe un nombre moyen inférieur ou égal à 1 œuf d'helminthes intestinaux par litre d'eaux usées traitées.

Cependant les travaux réalisés dans ce domaine montrent que les particules parasitaires, pour être éliminées des eaux, exigent des conditions particulières d'épuration et notamment certaines étapes du traitement qui permettent la décantation des eaux. La sédimentation des oeufs d'Ascaris est estimée à 0,6 m/h et 0,26 m/h pour les oeufs de Taenia dans les eaux au repos (SHUVAL et al, 1986).

L'orientation de la conduite des systèmes épuratoires pour une meilleure élimination des éléments parasitaires permettrait d'une part de disposer d'une qualité des eaux conforme aux critères sanitaires exigés par la législation en vigueur. D'autre part une meilleure gestion des ouvrages d'épuration notamment de clarification des eaux.

Dans cette optique et compte tenu de leur grande résistance, la recherche des éléments parasitaires permettrait de définir un marqueur d'efficacité des systèmes de traitement utilisés dans les stations d'épuration des différentes régions en Tunisie. Par ailleurs l'identification de ce type de pollution renseignerait d'une façon générale sur la charge polluante des eaux.

EXPERIMENTATION

Matériel et méthodes

Prélèvements

Les prélèvements sont effectués dans neuf stations d'épuration situées dans différentes régions du pays (voir carte de la répartition géographique des stations d'épuration d'eaux usées en Tunisie). Les principales caractéristiques des stations étudiées sont indiquées dans le tableau 1). Les échantillons d'eau ont été prélevés aussi bien à l'entrée des stations avant tout prétraitement, qu'à la sortie après traitement d'épuration.

Les échantillons prélevés ont un volume de 5 litres. Ce volume est défini avec le volume de 2.5 litres, comme les volumes donnant les résultats les plus significatifs (SCHWARTZBROD et STRAUSS, 1989). Les analyses ont été effectuées dans les meilleurs délais et sur des prélèvements ponctuels.

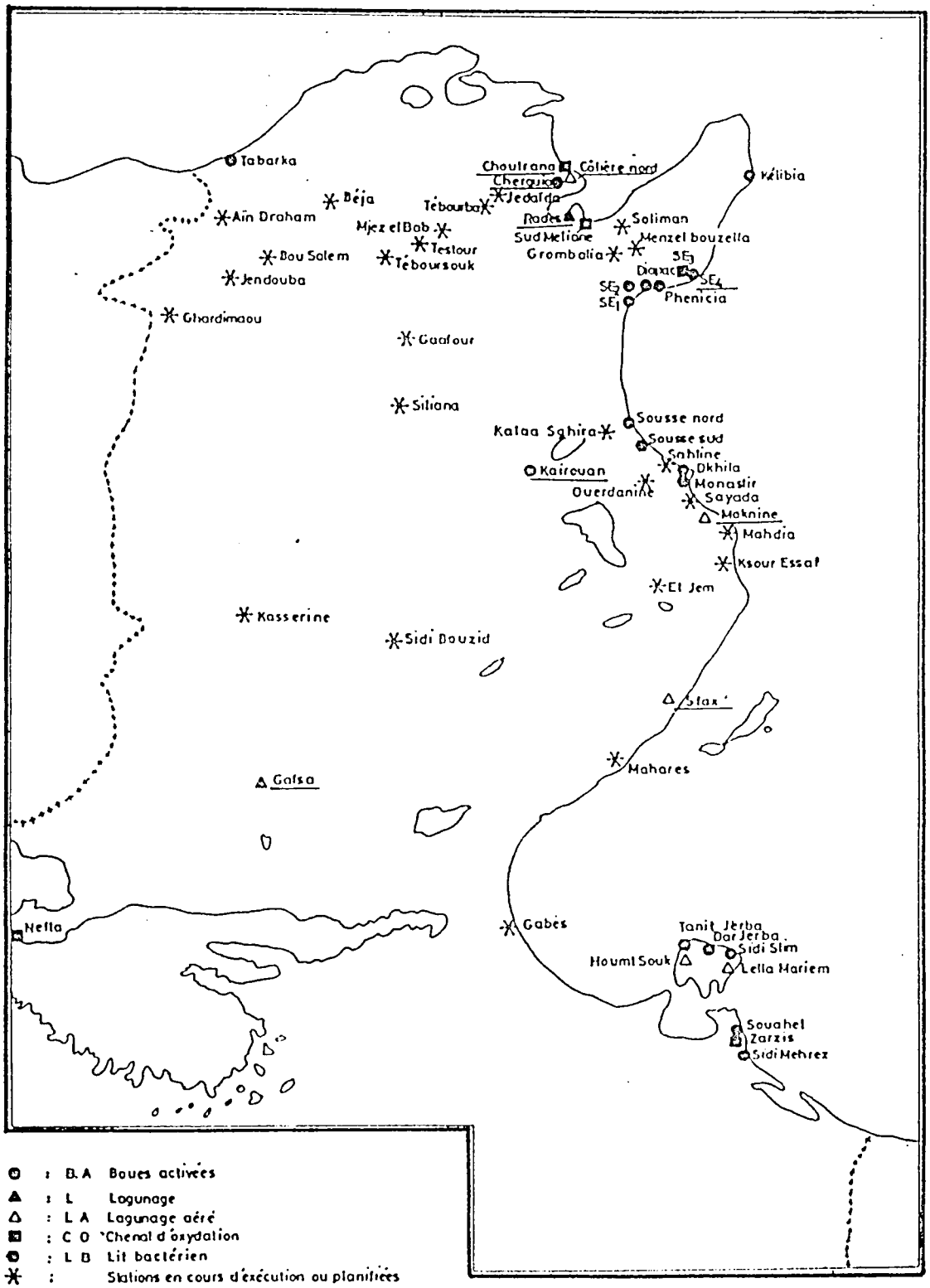
L'identification et la quantification des Kystes de protozoaires et oeufs d'helminthes ont été réalisées par observations microscopiques et comptage direct après enrichissement diphasique.

Méthodes

Etant donné la grande dispersion des parasites, la mise en oeuvre de méthode d'enrichissement par flottation ou sédimentation est indispensable.

Parmi les méthodes d'enrichissement, la technique proposée dans le rapport de l'OMS n° 778 (1990) est utilisée, cette technique d'enrichissement repose sur :

1. Décantation de l'échantillon pendant au moins 8 heures
2. Le surnagent est éliminé sans toucher au sédiment
3. Le sédiment 100 à 200 ml est récupéré en rinçant les parois avec environ 25 à 50 ml d'eau distillée. Le tout est centrifugé pendant 15 mm à 1000 tr/mn.



CARTE DE LA REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS D'EPURATION D'EAUX USEES EN TUNISIE

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des différentes stations étudiées (d'aprés les données de L' O.N.AS,1993,94)

Stations	Localité	Capacité (m3/J)	Debit (m3/J)	Origine de l'éffluent	Procédés de traitement	Nombre de jours d'arrêt	Temps de séjours
Charguia	Nord Tunis	60000	34000	D+I	Boue activée	0	6 heures
Choutrana	Nord Tunis	43500	98000	D+I	"	9	24 heures
Kairouan	Kairouan	12000	9914	D(94%)+I(5%)+T(1%)	"	15	_
S E 4	Nabeul	9585	7160	D+I(70%)+T(30%)	"	5	8 heures
Cotiér Nord	Nord Tunis	15750	14200	D	Lagunage aeré	0	90 j
Moknine	Moknine	3411	3064	I(60%)+D(40%)	"	1	70 j
Sfax	Sfax	24000	18220	D+I	"	14	2.5 j
Radés	Sud Tunis	700	834	D	Lagunage naturel	0	20 j
Gafsa	Gafsa	3500	5382	D(93%)+I(6%)+T(1%)	Lagunage naturel	0	52 j

D:domestique, I: industriel, T: touristique

4. Le surnagent est enlevé et supprimé. On ajoute le tampon pH = 4,5 d'acètate de sodium à un volume égal à celui du sédiment et la mixture est agitée.
5. On ajoute une quantité égale à celle déjà ajoutée en tampon pH = 4,5 et le tout est agité pendant 10 mn.
6. Le mélange est centrifugé à 1000 tr/mn pendant 6 mn.
7. Le surnageant est supprimé et le sédiment est remis en suspension avec environ 5 ml (le volume de la suspension est environ 5 fois celui du sédiment) d'éther.

L'éther surnageant avec la matière hydrophobe après centrifugation est éliminé pour récupérer un volume V du sédiment clair.

8. Un volume P est mis entre lame et lamelle pour observation microscopique.
9. Le nombre total d'oeufs d'hélminthes ou Kystes de protozoaire, par litre (N) présent dans la prise originelle d'eau usée est déterminé par la formule.

$$N = \frac{X.V}{P.S}$$

X : Nombre d'oeufs (ou Kystes)

P : Volume du produit observé sous microscope

V : Volume du produit total

S : Volume de l'échantillon de départ.

Discussion et interprétation

Les oeufs et Kystes retrouvés dans les eaux usées des stations étudiées appartiennent aux embranchements des protozoaires et hélminthes (Fig. 1). Il faut souligner la constante prédominance des Kystes de protozoaires quelle que soit la station d'épuration avec des fréquences d'échantillons positifs allant de 83 à 100 % (Fig. 1) chez les protozoaires, on rencontre les amibes et les flagelles.

Au niveau des helminthes ce sont les nématodes et les cestodes qui sont observés. Cela est en accord avec les observations de STIEN et SCHWARRZBROD (1988).

Parmi les aimibes sont retrouvés les Kystes d'Entamoeba coli et d'Entamoeba histolytica; chez les flagellés des kystes de Giardia intestinalis (Fig. 1).

D'une façon gnérale ce dernier prédomine, en ce qui concerne les pathogènes avec une moyenne allant de 1, 9 10^2 à 4,11 10^2 kystes 1^{-1} enregistrée respectivement à Kairouan et Gafsa. Alors que seulement 7,210^1 et 1,78 10^1 kystes 1^{-1} d'Entamoeba Histolytica observée respectivement à Nabeul et Gafsa.

Les kystes d'Entamoeba coli se revèlent très fréquents dans les eaux de la station de Gafsa, aussi bien à l'entrée qu'à la sortie. Ceci est en accord avec les fréquences de parasitoses intestinales avancées par Kennou, (1983).

Dans la région de Tunis, la Giardiose présente une fréquence de 35,61 % alors que pour Entamoeba coli et Entamoeba histolytica les fréquences rapportées sont respectivement de 14,24% et 3,56 %.

Au Sud du pays (vers la région de Gabès) ce sont plutôt les fréquences de parasitoses par Entamoeba coli qui sont les plus élevées, soit 30,15 % et seulement 20,15 % pour la Giardiose Kennou, (1983).

D'une façon générale, il ressort que le nombre moyen de Kystes de protozoaires dans les eaux usées brutes est peu différent d'une station à une autre à l'exception de la station de Gafsa dont la moyenne observée tourne autour de 1,28 10^3 kystes 1^{-1}. Un minimum enregistré est de l'ordre de 1,15 10^2 Kystes 1^{-1} au niveau de la station d'épuration de Gammarth., ces valeurs sont voisines de celles rapportées par PANICKER et KRISHANA-MOORTHIE (1981) avec 1,8 10^2 Kystes 1^{-1} mais elles sont inférieures au chiffres donnés par AKIN et al (1978), avec 8.10^4 kystes 1^{-1} par JAKUBOOWSKI et ERICKSEN (1979) avec $9.6.10^3$ à 241 10^5 kystes 1^{-1}.

En ce qui concerne les eaux usées traitées on constate que l'élimination des kystes de protozoaires varie selon la charge initiale des eaux et la technique de traitement utilisée. Les rendements d'éliminations des kystes pour les différentes stations étudiées (Tableau 2) sont compris entre 89.2. et 100 %.

Le plus faible rendement étant enregistré au niveau de la station de Sfax dont le mode de traitement est assuré par lagunage aéré. Les rendements les plus performants sont enregistrés dans les stations de Radès et de Gammarth. Ainsi ressort-il que le procédé d'épuration par lagunage présente une forte efficacité d'élimination des formes résistantes de parasites; toutefois la station de Sfax se situe tout à l'opposé malgré l'existance du lagunage aéré. Ce paradoxe est dû en réalité d'une part au nombre de bassins utilisés pour le traitement dans un tel système extensif. En effet, la station de Sfax ne met en jeu qu'un seul bassin pour la stabilisation des eaux, traitant un débit d'eaux brutes de l'ordre de 18220 m3/j. Alors que dans la station de Gammarth on compte 7 bassins (2+2+2+1) pour le traitement de 14200 m^3 d'eau usées par jour. La station de Radès quant à elle dispose de 9 lagunes pour un débit journalier d'eau brute de l'ordre de 834 m^3. D'autre part et compte tenu de la surcharge à la station de Sfax le temps de séjour n'est que de 2,5 jours. Tandis qu'à Gammarth et à Radès les temps de rétention des eaux respectifs sont de l'ordre de 90 et 20 jours. Ces différences des conditions de fonctionnement peuvent expliquer la qualité médiocre de la charge parasitaire des eaux traitées dans la station de Sfax.

En ce qui concerne la station de Gafsa malgré une charge initiale à l'entrée relativement élevée (Tableau 3) on enregistre cependant un taux d'élimination de Kystes assez important d'environ 94,5 %. Ceci peut être expliqué par des paramètres d'exploitation relativement correctes à savoir cinq lagunes fonctionnant en série permettant une rétention des eaux pendant 52 jours assurant une sédimentation convenable des particules parasitaires.

A la station de Moknine où on dispose de deux lagunes aérées, malgré un temps de séjour important de l'ordre de 70 jours on constate un rendement comparable à celui de la station de Sfax. Ceci peut être expliqué par le fait que ces deux lagunes sont en réalité exploitées en paralllèle ce qui fait que la station ne fonctionne effectivement que par un seul bassin tout comme la station de Sfax, avec une différence près. Un temps de séjour plus important ce qui lui confère une meilleure efficience.

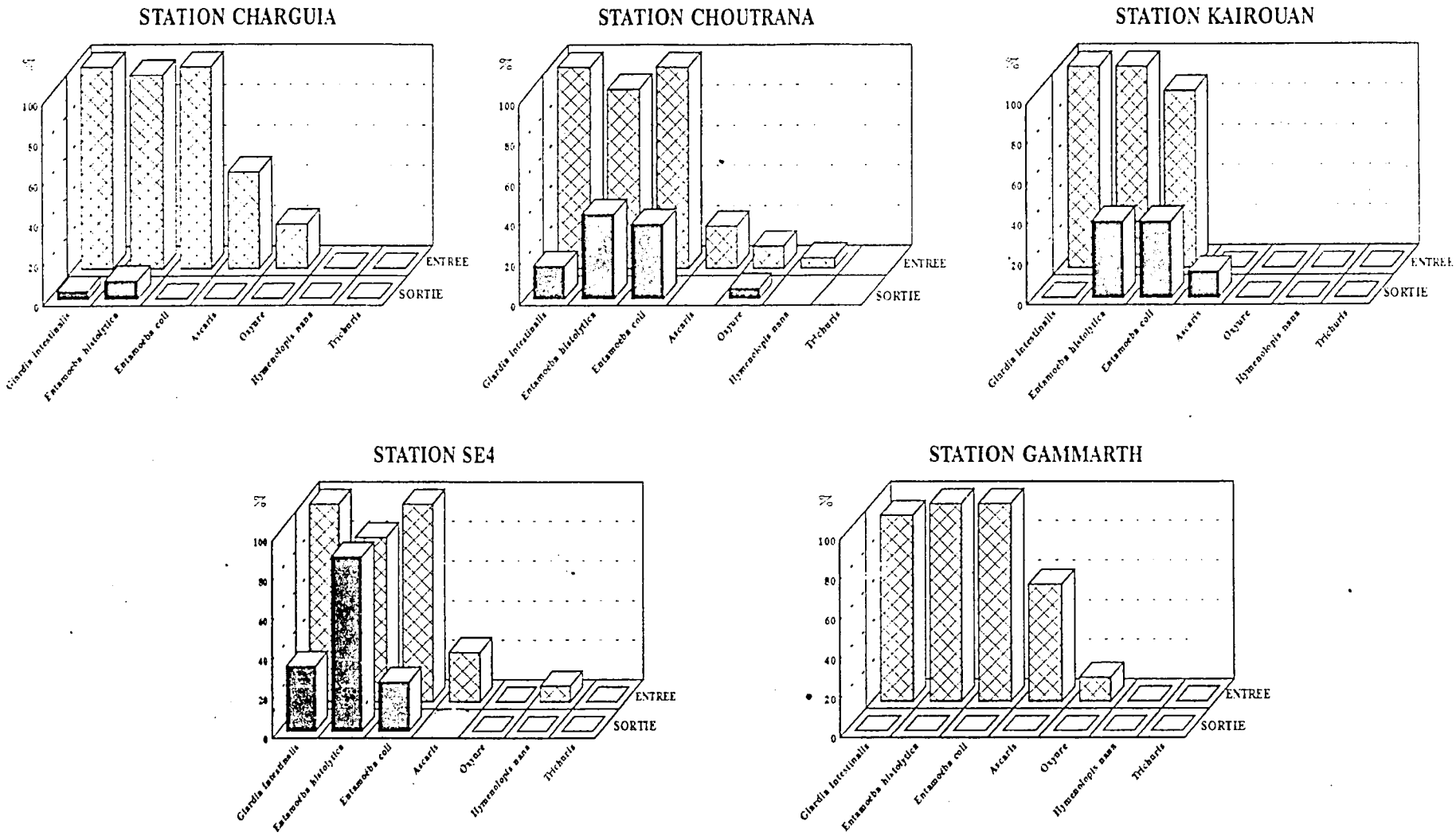


Figure 1: Pourcentages des prélèvements positifs des Protozoaires et Helminthes dans les affluents et effluants des différentes stations.

Tableau 2 : Rendements d'élimination de parasites des différentes stations étudiées.

Stations	Rendements d'élimination en %		
	Parasites Kystes + oeufs	Kystes de protozoaires	Oeufs d'hélminthes
Charguia	98.4	98.4	100
Choutrana	93.8	93.8	94.3
Kairouan	90.3	90.2	100
S E 4	91.2	90.8	100
Radès	100	100	100
Gammarth	100	100	100
Moknine	90.6	90.1	100
Sfax	89.2	89.2	85.7
Gafsa	95.0	94.5	100

Pour les systèmes de traitement intensifs à boues activées, les rendements d'élimination de la charge parasitaire varient de 90.8 % observé au niveau de la station SE4 jusqu'à 98,4 % enregistré à la station de Charguia (Tableau 2).

Il est important de signaler que malgré l'absence d'un décanteur primaire au niveau de la station Choutrana on enregistre quand même un rendement d'environ 93,8 %.

Cependant le rendement d'élimination de la charge parasitaire de la station de Charguia reste supérieur à celui de Choutrana. Ceci peut être expliqué par le fait que cette station travaille en surcharge d'une part (voir tableau 1), d'autre part elle ne dispose pas d'un décanteur primaire. Ceci permet de penser que le rôle de la décantation primaire dans un circuit d'épuration apparait très efficace pour l'élimination des éléments parasitaires.

Les stations de Kairouan et SE4 disposent chacune d'un décanteur primaire et secondaire cependant, elles présentent des rendements relativement plus faibles que ceux enregistrés à

Charguia et Choutrana. Notamment en ce qui concerne la station de SE4 malgré une charge initiale assez faible (5.15 10^2) Kystes 1^{-1} le taux d'élimination des Kystes n'est que de l'ordre de 90,8 %. Nous retenons néanmoins que les différents systèmes d'épuration présentent des rendements assez correctes dans leur ensemble, toutefois le système extensif par lagunage semble permettre aisément une meilleure performance en ce qui concerne l'abattement des formes résistantes des kystes de protozoaires.

En ce qui concerne les oeufs d'helminthes, le nombre moyen d'oeufs est nettement plus faible et varie selon les populations. Au Nord de la ville de Tunis les moyennes enrgistrées à l'entrée des stations varient de 35 à 42 oeufs 1^{-1}. Presque le même nombre est trouvé en banlieue Sud (Radès); la moyenne et d'environ 30 oeufs 1^{-1}.

Au Sud du pays, la moyenne enregistrée dans les eaux de la ville de Gafsa est assez élevées 120 oeufs 1^{-1} par contre à Sfax la moyenne et nettement plus faible et reste autour de 14 oeufs 1^{-1} (tableau 3). Toutefois cette charge parasitaire chute considérablement dans les eaux épurées, puisqu'à ce niveau, quelle que soit la technique de traitement utilisée, aucun oeuf n'a pu être observé et ceci dans les 78 % des stations étudiées à l'exception de la station de Choutrana et Sfax où on a enregistré une moyenne de 3 oeufs 1^{-1} avec une fréquence de positivité d'échantillons de 5 % et 11 % respectivement (voir fig. 1) ceci confirme la nécessité de l'existence de la décantation primaire dans les systèmes intensifs, pour permettre une meilleure sédimentation des particules parasitaires. Pour les systèmes extensifs l'étang de stabilisation étant présent c'est surtout le temps de séjour qui conditionne cette sédimentation et permet l'obtention d'une eau qui répond aux critères de qualité exigés par la législation tunisienne. BRADLEY et HADINY (1981) rapportent que pour les systèmes de traitement basés sur la décantation primaire suivi d'un traitement biologique le rendement total peut atteindre les 90 %.

Pour les systèmes de traitement biologique extensif (lagunage). Le guide de l'OMS (1990) mentionne que la combinaison de deux jours dans les lagunes anaérobies suivies par dix jours dans les lagunes facultatives éliminent la totalité des helminthes et protozoaires. Cependant, un temps de rétention total de 10 jours dans des lagunes a été trouvé par MARA et SILVA (1978) comme étant efficace pour éliminer tous les oeufs et larves, des eaux usées au Nord Est du Brésil à la température ambiante de 25 à 27°C. SAQUAR et PESCOD (1991) montrent quant à eux qu'il faut un temps de séjour de 23 jours pour abattre la totalité des oeufs des némathodes dans les eaux usées d'Al Samra en Jordanie. Ils rapportent que la rétention pendant 8 à 10 jours est insuffisante pour éliminer les oeufs d'helminthes notamment aux faibles températures (12-15°C). Toutefois il semble que le lagunage est le plus efficace, lorsqu'il est bien conduit pour éliminer la totalité des éléments parasitaires. Les temps de séjour quoique variables restent favorables pour la sédimentation gravitaire de la majorité des particules parasitaires. Enfin pour améliorer les performances des stations, il serait préférable de réétudier le dimensionnement des bassins en tenant compte de la charge polluante et de la charge hydraulique (cas de la station de Sfax).

Tabeau 3 : Concentration en Kystes de protozoaires et oeufs d'helminthes dans les eaux usées

Stations	Charguia		Choutrana		Kairouan		S E 4		Radès	
Analyses	E *	S *	E	S	E	S	E	S	E	S
Kystes de protozoaires	608 *	10	690	43	633	62	515	47	538	-
Oeufs d'helminthes	38 *	-	35	2	4	-	20	-	30	-
Total	646	10	725	45	637	62	535	47	568	-

Stations	Gammarth		Moknine		Sfax		Gafsa	
Analyses	E	S	E	S	E	S	E	S
Kystes de protozoaires	515	-	559	55	635	68	1288	70
Oeufs d'helminthes	42	-	24	-	14	2	120	-
Total	557	-	583	55	649	70	1408	70

* E : entrée S : sortie

* Moyenne arithmétique d'oeufs d'helminthes et Kystes de protozoaires par litre d'eau.

Etude comparative des rendements des stations étudiées

Dans les eaux usées traitées, la charge polluante que ce soit physico-chimique, bactériologique ou parasitaire n'est plus liée à l'activité des populations productrices des eaux, mais reste intimement dépendante de la filière de traitement et de son degré d'efficacité vis à vis de certains paramètres. En effet les différents types de pollution ne se comportent pas tous de la même manière dans une chaîne de traitement. Il existe des pollutions, dont l'élimination est très aisée mais d'autres peuvent persister dans l'eau même après un séjour important dans des ouvrages de traitement diverses.

En effet au regard du tableau 4 on constate que du point de vue abattement de la pollution organique la station la plus performante est celle de SE4 à Nabeul avec un rendement de l'ordre de 90,9 % en D.C.O. On retrouve après les stations de Charguia, Kairouan, Gafsa, Choutrana, Gammarth, Radès et Moknine avec respectivement des rendements d'élimination en D.C.O de l'ordre de 88,5 - 89,9 - 85,8 - 85,5 - 68,2 - 55,8 et 55,5 %.

En ce qui concerne l'efficience bactériologique de ces stations on constate que la station de Gammarth est la plus performante avec des abattements d'environ 3 à 4 unités log. Pour toutes les autres stations, on ne dépasse guère 2 unités log pour l'abattement de différents types de bactéries. Toutefois la station de Moknine semble la moins performante avec celle de Radès.

Les autres restent dans leur ensemble relativement semblables les unes aux autres pour l'abattement de ce type de pollution. Néanmoins il est interessant de noter que ces stations dont le comportement est identique en ce qui concerne la charge bactériologique comportent toutes un système de traitement à boues activées. De leur côté les systèmes extensifs à lagunage présentent une efficience extrêmement variable bactériologiquement, dénonçant une étroite dépendance du temps de séjour des eaux dans la station (rappelons que Gammarth possède le temps de séjour le plus long voir tableau 1), du nombre de bassins de stabilisation, de la forme des bassins et de l'hydraulicité des eaux à l'intérieur de la station qui peut être à l'origine de remous engendrant la remise en suspension des boues et par conséquent des eaux traitées de moins bonne qualité. D'ailleurs ceci est vrai aussi en ce qui concerne l'élimination de la charge parasitaire. Puisque le lagunage apparait comme le système le plus performant d'une façon générale devant les systèmes à boues activées (voir tableau 4) qui présentent des différences en fonction de la composition de leur chaîne de traitement existante (absence de la décantation primaire à la station de Choutrana).

Ainsi donc il ressort d'après cette analyse que le système basé sur le lagunage lorsqu'il est bien conduit et convenablement conçu (temps de séjour, dimensionnement, nombre de lagunes...etc) présente les rendements les plus performants sur le plan bactériologique et parasitaire et reste satisfaisant en ce qui concerne la pollution organique (rappelons qu'il atteind un rendement moyen de 68 % dans ce cas) sans pour autant atteindre l'efficacité des systèmes à boues activées. En conséquence le dépistage des éléments parasitaires dans les eaux traitées et notamment des kystes de protozoaires peut nous renseigner sur le bon fonctionnement de l'épuration sinon d'une défaillance d'un paramètre responsable d'une meilleure conduite du lagunage (cas de Moknine et Gafsa). En ce qui concerne les systèmes à boues activées, il apparait clairement que le dénombrement des kystes constitue un marqueur évident de l'efficacité du traitement. Puisque pratiquement dans toutes les eaux traitées nous retrouvons les kystes de protozoaires. Ce qui nous fait penser qu'une meilleure clarification des eaux au niveau de la décantation secondaire permettrait probablement d'éliminer totalement les kystes. Surtout que sur le plan pollution organique déjà ces systèmes paraissent assez performants, cette pratique ne peut que leur être bénéfique.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et parasitaires des différentes stations étudiées

Stations	Gammarth		Sfax		Moknine		Gafsa	
Type du traitement	Lagunage aéré		Lagunage aéré		Lagunage aéré		Lag. naturel	
Analyses	E	S	E	S	E	S	E	S
Paramètres physico-chimiques*								
PH	7.5	8			7.6	8.1	7.2	7.9
Chlorure mg/l	2102	1982			1236	1070	331	349
D C O mg 02/l	717	228			1707	760	2193	311
D B O 5 mg 02/l	285	47			657	141	1097	39
M E S mg/l	260	45			458	118	890	22
Paramètres bacteriologiques*								
Coli. T Log N. P.P. /100 ml	6.90	3.11			6.08	5.23		
Coli. F Log N. P.P. /100 ml	6.28	2.97			4.74	5.15		
Strep. F. Log N. P.P. /100 ml	6.30	2.74			6.28	4.46		
E. Coli. T Log N.P.P /100 ml	6.23	2.84			4.74	5.15		
Paramètres parasitaires								
Kystes de protozoaires /l	538	-	635	68	643	25	1165	117
Oeufs d'helminthes /l	25	-	14	2	9	-	-	-

* D'après les analyses effectuées au laboratoire central de l'O.N.A.S (1993/94)

N.P.P : Nombre le plus probable.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et parasitaires des différentes stations étudiées

Stations	Charguia		Choutrana		Kairouan		S E 4		Radès	
Type du traitement	Boue activée		Boue activée		Boue activée		Boue activée		Boue activée	
Analyses	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
Paramètres physico-chimiques*										
PH	7.3	7.5	7.2	7.5	7.6	7.8	7.5	7.6	7.1	7.8
Chlorure mg/l	952.4	964.3	916	965	592	843	518	600	195	524
D C O mg 02/l	879.1	100.6	1143	166	899	108	969	88	460	203
D B O 5 mg 02/l	401	18	492	30	377	21	368	*59	181	47
M E S mg/l	368.7	15.5	469	35	435	21	415	*34	91	40
Paramètres bacteriologiques*										
Coli. T Log N. P.P. /100 ml	7.45	5.51	7.72	5.43	6.92	4.41	7.7	6.04	6.72	5.38
Coli. F Log N. P.P. /100 ml	7.47	5.32	7.51	5.38	6.83	4.38	7.36	5.72	5.56	5.36
Strep. F. Log N. P.P. /100 ml	5.97	4.08	6.11	4.64	6.20	4.63	6.25	4.77	5.88	3.11
E. Coli. T Log N.P.P /100 ml	7.47	5.32	7.23	5.38	6.52	4.38	7.28	5.72	6.15	5.36
Paramètres parasitaires										
Kystes de protozoaires /l	629	8	730	48	638	64	665	60	596	-
Oeufs d'helminthes /l	34	-	12	17	5	-	27	-	30	-

* D'après les analyses effectuées au laboratoire central de l'O.N.A.S (1993/94)

N.P.P : Nombre le plus probable.

CONCLUSION

L'étude du devenir de la charge parasitaire au cours des traitements d'épuration biologiques intensifs (boues activées) et extensifs (lagunage), montre que les oeufs et les kystes retrouvés dans les eaux usées des stations étudiées appartiennent aux familles des protozoaires et hélminthes, dont la majorité sont éliminés par sédimentation. Toutefois si tous les systèmes semblent permettre la décantation de la totalité des oeufs d'hélminthes à l'exception des stations de Sfax et de Choutrana, il n'en est pas de même pour les kystes de protozoaires. Ces derniers se revèlent plus difficile à éliminer probablement en raison de leur taille nettement plus petite.

- Pour les systèmes à boues activées les divergences sont dûes à l'absence ou la présence de la décantation primaire d'une part. D'autre part l'étape d'aération dans ce cas peut s'opposer à la décantation des particules parasitaires.

En ce qui concerne les systèmes de traitements biologiques extensifs, les résultats trouvés montrent que les meilleurs rendements d'élimination de la charge parasitaire, ont été observés au niveau des stations d'épuration de Gammarth et de Radès atteignant ainsi les 100 %. Alors que dans les stations de Sfax et de Moknine on remarque une chute de rendement de l'ordre de 10 %. Ceci est expliqué par le fait que la station de Sfax ne met en jeu qu'un seul bassin pour la stabilisation des eaux, pour un temps de séjour de 2,5 jours alors qu'à Gammarth et Radès les temps de rétention des eaux respectifs sont de 90 et 20 jours.

La station de Moknine dispose de deux lagunes aérées qui sont en réalité exploitées en parallèles ce qui fait que la station ne fonctionne effectivement que par un seul bassin. Mais avec un temps de séjour important de l'ordre de 70 jours ce qui permet une meilleure efficience.

Par ailleurs, il nous a été possible de constater que le flux des éléments parasitaires dans les différentes stations se comporte pratiquement de façon comparable à la charge organique et bactériologique des eaux. En effet les stations recevant les eaux les moins souillées en parasites (cas des stations de Gammarth et Radès) ont également les eaux brutes les moins polluées et inversement (cas de la station de Gafsa).

En eaux épurées, on constate que la charge polluante que ce soit physico-chimique, bactériologique ou parasitaire n'est plus liée à l'activité de la population productrice des eaux mais, plutôt reste tributaire de la filière de traitement et de son degré d'efficacité vis à vis de certains paramètres et notamment les plus difficiles à éliminer (cas des formes résistantes de parasites).

Ainsi donc il ressort que l'identification de la charge parasitaire des eaux usées, que ce soit pour les systèmes de traitement intensifs ou extensifs, permet l'évaluation des différentes étapes de traitement et de la bonne conduite de l'épuration.

BIBLIOGRAPHIE

AKIN, E.W., JAKUBOWSKIM, LUCAS J.B. PAHRENH. R. 1978 "Health hasard associated with waste water effluent an sludge microbiological.

BRADLEY R.M., HADINY. S. 1981 "Parasitic infestation and the use of untreated sewage for irrigation of végatbles with particular reference to aleppo syria" the pub. Heath Eng. Vol 9 N° 3 July PP. 154 - 157.

CHUTE G. C., SMITH R.P., BARON J.A. 1987 "Risk Factonr For endemic Giardiasis" AM. J. Publ. Healh. 77, pp. 585.587.

JAKUBOWSKI W. et ERICKSEN H. 1979 "Methods for detection of Giardia cysts in water supplies waterborne transmission of giardiasis" EPA 600/9 - 79 - 001, pp. 193.210.

KENNOU M.F. 1983 "Les parisitoses d'origines alimentaires en Tunisie". Arch. Inst Pasteur Tunis, 60 (3-4), 393-407

LAPHAM S.C., HOPKINS D.S. WITH M.C., BLAIR J.R., BISSELL R.A., SIMPSON G.L. 1987 "Aprospective Study of Giardiasis and water supplies in Colorado" A.M. Journ Publi. Heath 77, pp. 354.355.

MARA, D. and SILVA, S.A. 1978 "Sewage treatment in evaste stabilisation pands" recent research in northeast brasil prog. wat. tech. 11 1/2 pp 341-344.

PANICKER P.V.R.C., KRISHNAMOORTHI K.P. 1981 "Parasites egg and cyst reduction in oxidation ditches and aerated lagoons" J. Watte, Poll control Fed 53 PP. 1413-1419.

SAQAR. M.M., and PESCOD M.B. 1991 "Microbiological performance of multistage stabilisation ponds for effluent use in agriculture" wat.s. tech. Vol 23 Kyoto. PP 1517 - 1524.

SHUVAL M.E. ADIN A. FATAL B, RAWTHZ E. YERUTIEL P. 1986 "waste water irrigation in developping contrie : Health effects and technical solution.

World Bank technical paper N° 51 21 -338.

STIEN et SCHWARTZBROD J. 1988 "Flux d'oeufs d'helminthes parasites dans les stations d'épuration par boues activées" T.S.M., N° 10, pp. 495-498.

WORLD HEALTH ORGANISATION 1990 "Health guide lines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture" Technical report series N° 778.

UTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EFFET DE L'IRRIGATION PAR ASPERSION SUR LE RENDEMENT ET LA QUALITE CHIMIQUE D'UNE CULTURE FOURRAGERE ET D'UNE CULTURE INDUSTRIELLE

Saloua REJEB

Laboratoire de Physiologie Végétale
Centre de Recherche du Génie Rural

RESUME

La valorisation agricole des eaux usées nécessite un choix judicieux des cultures et du mode d'irrigation afin d'assurer un rendement maximum et préserver la qualité chimique et biologique des produits récoltés.

Parmi les différents systèmes d'irrigation, l'aspersion a été préconisée sur certains périmètres irrigués avec les eaux usées traitées.

Toutefois, les agriculteurs ont manifesté une certaines réticence vis à vis de ce mode d'irrigation suite à l'apparition de brûlures sur les organes de plantes irriguées par aspersion. Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, deux modes d'irrigation ont été comparés à la station de Soukra, à savoir: l'irrigation par aspersion et l'irrigation de surface.

L'effet de ces deux types d'irrigation a été évalué sur la production et la qualité chimique du sorgho fourrager et du cotonnier.

Des brûlures sont apparues sur les extrémités des feuilles de sorgho et à proximité des asperseurs lorsque la longueur des plants a atteint le niveau de ces derniers. En soulevant les asperseurs, nous avons pu remédier en grande partie à ce phénomène dû probablement à un choc extérieur.

Pour le cotonnier, des brûlures ont été également observées en régime d'aspersion sur des feuilles notamment de plants jeunes.

Ces manifestations sont dues en partie à une absorption supplémentaire des ions Na et Cl dont les teneurs des plants sont plus élevées comparativement à l'irrigation de surface. Les eaux usées étant chargées en sels, ces symptômes peuvent être également associés à une concentration saline importante des gouttelettes d'eau sur les feuilles sous l'effet cuisson du soleil.

Il est à signaler que l'arrêt de l'aspersion et le retour à l'irrigation de surface ont pu remédier à ces manifestations néfastes observées sur une culture de cotonnier chez un agriculteur.

TRAITEMENT DES EAUX USEES URBAINES EN VUE DE LA REUTILISATION AGRICOLE

Ahmed GHRABI

Laboratoire d'Environnement,

RESUME

Le Laboratoire d'Environnement développe un programme de recherches appliquées multidisciplinaires sur le traitement et la valorisation des eaux usées. Une station pilote de traitement des eaux usées a été construite pour expérimenter plusieurs filières de traitements des eaux usées en vue de leur valorisation en agriculture. les objectifs sont :

1 - Maîtriser les différentes techniques de traitement des eaux usées et améliorer le niveau d'épuration des effluents destinés à être réutilisés en agriculture,

2) Expérimenter les différentes qualités d'eaux traitées sur des parcelles expérimentales afin de mieux identifier les techniques d'irrigation les plus appropriées et les plus économisatrices d'eau.

Cette station, branchée sur le réseau d'égout de la ville de Tunis (cité Mutuelleville), comprend quatre filières de traitements :

- deux filières à biomasse fixée : lit bactérien et disques biologiques,
- un traitemnt naturel par lagunage naturel (bassins de stabilisation),
- épandage souterrain (sol filtrant),

ainsi qu'une phase de désinfection (filtration, Ultra-Violet et Chloration).

L'étude a bien distingué les performances des 4 filières : le lit bactérien et les disques biologiques se sont montrés efficaces dans l'élimination de la pollution dissoute dans l'effluent. Mais les effluents restent encore dangereux de point de vue qualité bactériologique contrairement aux bassins de stabilisation (lagunage) qui délivrent un effluent dont les concentrations en germes sont acceptables. Les techniques d'épandage souterrain et d'infiltration sont également susceptibles de donner des résultats intéressants.

LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN AGRICULTURE UN MOYEN DE RESTARDER LA SALINISATION POUSSEE DES AQUIFERES PHREATIQUES

REKAYA M,

D.G.R.E. C.R.D.A. NABEUL

RESUME

En Tunisie, on dénombre 196 entités aquifères phréatiques. Leurs ressources s'élèvent à 670 Mm3/an. Actuellement, les prélèvements y dépassent 700 Mm3. Plus que 54 nappes phréatiques sont soumises à un rythme d'exploitation intensive entraînant la classification de ces nappes parmi celles qui sont surexploitées. La plupart de ces aquifères sont situés sur la côte. L'impact de la surexploitation s'est traduit par une incidence se rapportant à la fois à l'aspect quantitatif et qualitatif de ressource.

Sur le plan quantitatif, on assiste à une dépression localisée où même généralisée de la piézométrie.

Sur le plan qualitatif, ce sont surtout les aquifères côtiers et ceux ayant pour exutoire un Sebkha qui accusent une tendance vers la salinisation de plus en plus poussée sous l'effet de l'intrusion du biseau salé.

La limitation de la ressource et la dégradation de sa qualité ont poussé les gestionnaires à la recherche de solutions. Elles ont consisté dans une première phase en l'apport des eaux de surface quant elles sont mobilisées et disponibles. Mais leur limitation et les problèmes posés par leur transfert ont poussé à la recherche d'une ressource non conventionnelle à savoir les eaux usées.

L'on précise que la valorisation d'une telle ressource s'impose à plus d'un titre :

- sur le plan quantitatif, les eaux usées traitées constituent le 1/6 des ressources des nappes phréatiques,

- sur le plan qualitatif, les eaux usées traitées constituent parfois un ressource concurrentielle par rapport à celle des nappes aquifères endommagées par l'instrusion des eaux marines.

Le recyclage des eaux usées traitées dans le domaine d'agriculture parait être pratiqué soit directement en irrigation, soit indirectement par la pratique de la recharge artificielle. Cette technique consiste à stocker ces eaux dans le réservoir aquifère notamment en dehors des périodes d'irrigation. Cette façon de faire permet une meilleure valorisation d'une telle ressource tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

(n))F 9) 1

IMPACT DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE PAR LES EAUX USEES TRAITEES SUR LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE NAPPE

TRAD RAIS Monia

Centre de Recherches du Génie Rural

RESUME :

En Tunisie, les eaux usées traitées sont réutilisées pour l'irrigation des cultures depuis plusieurs années. La recharge artificielle des nappes à partir de ces eaux est une autre forme de réutilisation qui présente un grand nombre d'avantages pour le pays. Elle permet un stockage, adapté au climat, pendant les périodes où ces eaux ne sont pas utilisées pour l'irrigation. Elle constitue aussi un important moyen de prévention et de lutte contre l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers. Enfin, grâce au pouvoir auto-épurateur du sol, la recharge artificielle des nappes peut constituer un complément de traitement simple et économique pour les eaux usées.

Des essais de recharge artificielle de la nappe phréatique par des effluents secondaires ont été effectués sur le site expérimental de l'Oued Souhil dans la région du Cap Bon. Les suivis microbiologiques avaient pour objectif de préciser l'impact de cette opération sur la qualité sanitaire des eaux de nappe et de tester son efficacité en tant que procédé de traitement complémentaire des eaux usées.

Dans les conditions opératoires de l'essai, le passage des effluents secondaires à travers la zone non saturée n'a pas permis l'élimination complète des germes tests de contamination fécale. L'importance de la contamination des eaux de nappe par ces germes dépendait de l'épaisseur de la zone non staturée traversée par les eaux infiltrées, de la distance qui sépare les piézomètres des bassins d'infiltration ainsi que de leur situation par rapport aux directions des écoulements souterrains. Les germes fécaux qui parvenaient à atteindre la nappe avaient une durée de survie relativement limitée.

1. INTRODUCTION

La réutilisation des eaux usées traitées (EUT) à des fins agricoles est en plein développement dans tous les pays confrontés à des problèmes de manque d'eau. cette réutilisation peut avoir deux applications différentes.La première qui est la plus courante consiste dans l'irrigation de différents types de cultures; la seconde est représentée par la recharge artificielle des nappes phréatiques. Cette dernière démarche, peu développée en Tunisie, présente plusieurs avantages :

- Elle constitue un mode de stockage adpaté aux conditions climatiques du pays puisqu'elle permet d'éviter les pertes d'eau par évaporation et la concentration en sel qui en résulte.

- La recharge artificielle des nappes constitue aussi un important moyen de prévention et de lutte contre l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers.

- Grâce au pouvoir auto-épurateur du sol, cette pratique peut permettre l'amélioration de la qualité microbiologique des eaux usées traitées jusqu'à une limite compatible avec une réutilisation agricole non restrictive (1, 2 et3).

Depuis quelques années, la recharge artificielle de la nappe par les EUT est pratiquée, à titre expérimental, dans la région du Cap Bon. Les suivis effectués ont pour objectifs de préciser son impact sur la qualité microbiologique des eaux de la nappe et de tester son efficacité en tant que mode de traitement complémentaire des EUT.

2. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Il est constitué de quatre bassins d'infiltration d'une profondeur moyenne de 1.5 à 1.7 m et totalisant une superficie de 1365 m2.

Le suivi de la qualité des eaux de nappe s'effectue grace à un réseau de piézomètres implantés à différentes profondeurs et à des distances variables par rapport aux bassins d'infiltration (Fig.1). Ces piézomètres sont crépinés aux niveaux de diffrents horizons. Le tableau 1 indique les principales caractéristiques de ces piézomètres.

Tableau 1 : Caractéristiques des piézomètres

PZ	Profondeur (m)	Horizons crépinés(m)	Bassin le plus proche	Distance / Bassin (m)
PC 1	17	13-15	B 2	54,4
PC 2	16	12-14,5	B 2	11,8
PZ 2	13	9-11	B 2 - B 4	-
PZ 3	16	11-13	B 1 - B 3	-
PZ 4	20	13-16	B 1 - B 2	-
PZ 4 bis	16	0,5-16	B 1 - B 2	-
PZ 7	16,5	0,5-14,5	B 4	31,2
PZ 10	17	0,5-14,5	B 3	20
PZ 12	16	4-14,5	B 3	72,6
PZ 13	14,2	4-13	B 3	38,5

2.2 LES EAUX USEES UTILISEES POUR LA RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE

Les eaux usées utilisées dans cette expérimentation proviennent de la station d'épuration SE4 où elles subissent un traitement d'épuration par boues activées. Ces eaux usées traitées contiennent dans 100 ml, $4.3x10^5$ coliformes, $3.6x10^5$ coliformes fécaux et $2.2x10^5$ streptocoques fécaux. Ces teneurs représentent les moyennes géométriques des résultats obtenus à partir de six échantillons prélevés dans les eaux qui ont été injectées dans les bassins d'infiltration au cours de l'opération de recharge. Ces teneurs sont de même ordre de grandeur que celles déterminées ultérieurement à la sortie de la station d'épuration SE4 au cours d'une plus longue période de suivi (4).

2.3 CONDUITE DE LA RECHARGE

L'opération de recharge qui s'est déroulée en deux phases a duré, au total, 69 jours pendant lesquels 58.514 m^3 ont été injectés dans les bassins, ce qui correspond à une moyenne de 833 m3/j. Au cours de la première phase, les bassins ont fonctionné en intermittence et par couple : Pendant que les deux premiers recevaient les eaux usées, les deux autres étaient au repos. On changeait de bassins lorsque la hauteur d'eau atteingnait 1 m. Au cours de la seconde phase, on a procédé à une rotation de bassins : Pendant que l'un des trois bassins recevait les eaux usées, les trois autres étaient au repos. Les résultats présentés ont été obtenus au cours de la première phase qui a duré 45 jours et durant laquelle 42395 m^3 d'EUT ont été injectés dans les bassins d'infiltration.

3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE INITIALE DES EAUX DE LA NAPPE

A l'état initial, les eaux de la nappe contiennent dans 100 ml, 446 coliformes, 31 coliformes fécaux et 871 streptocoques fécaux. Ces valeurs représentent les moyennes géométriques des résultats obtenus aux niveaux de 12 piézomètres un jour après la mise en eau des bassins d'infiltration. Cette contamination initiale des eaux de la nappe en germes tests de contamination fécale (GTCF) est relativement peu élevée. Elle est de même niveau que celle déterminée sur d'autres sites (5) et dans des conditions similaires c'est à dire sous périmètre irrigué par les EUT.

4. EVOLUTION DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DE LA NAPPE AU COURS DE LA RECHARGE

L'examen de l'évolution de la teneur des eaux en GTCF dans les différents piézomètres permet de déterminer l'effet de la recharge artificielle par les EUT et de préciser les variations de cet effet dans l'espace et dans le temps.

Le contrôle de la qualité des eaux effectué aux niveaux des différents piézomètres une semaine avant le démarrage de la recharge n'a pas été précédé par un pompage. Les résultats correspondants ne sont pas pris en considération dans la détermination de la qualité initiale de la nappe. Ils sont représentés sur la Fig.2 pour montrer l'importance de cette précaution et ses effets possibles sur la signification des résultats.

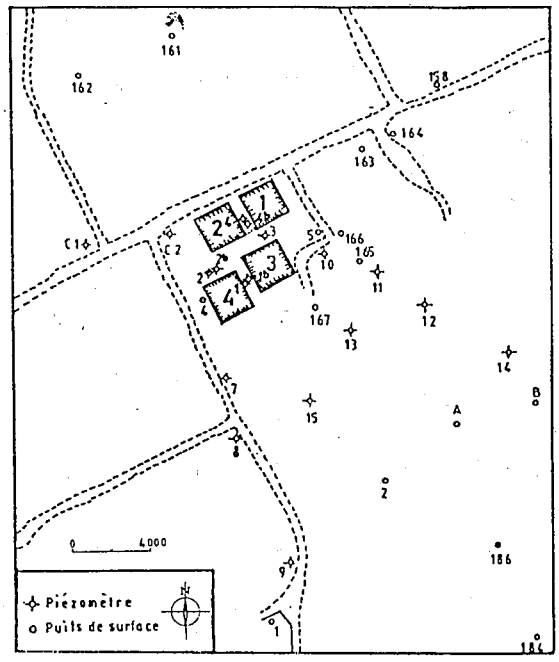


Fig.1: Dispositif expérimental de recharge artificielle de la nappe

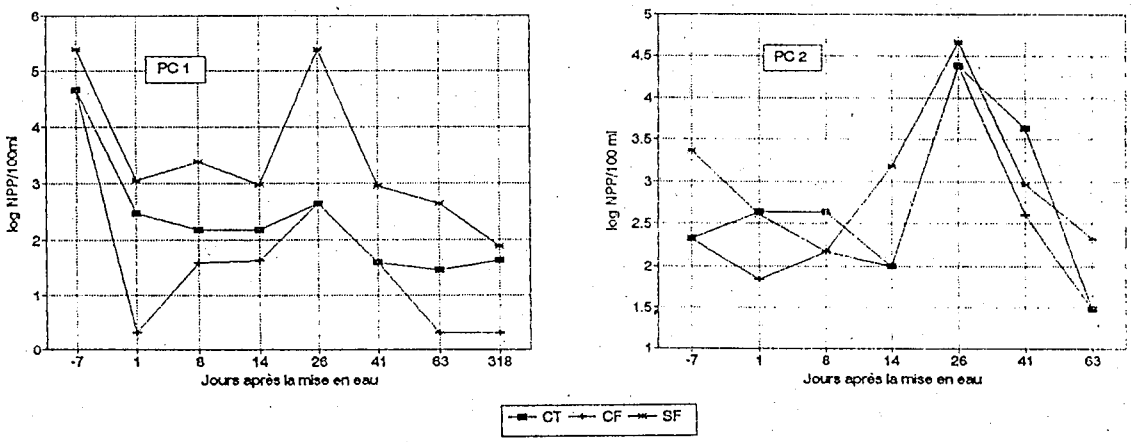


Fig. 2a: Evolution de la teneur des eaux de la nappe en GTCF au niveau des piézomètres PC1 et PC2

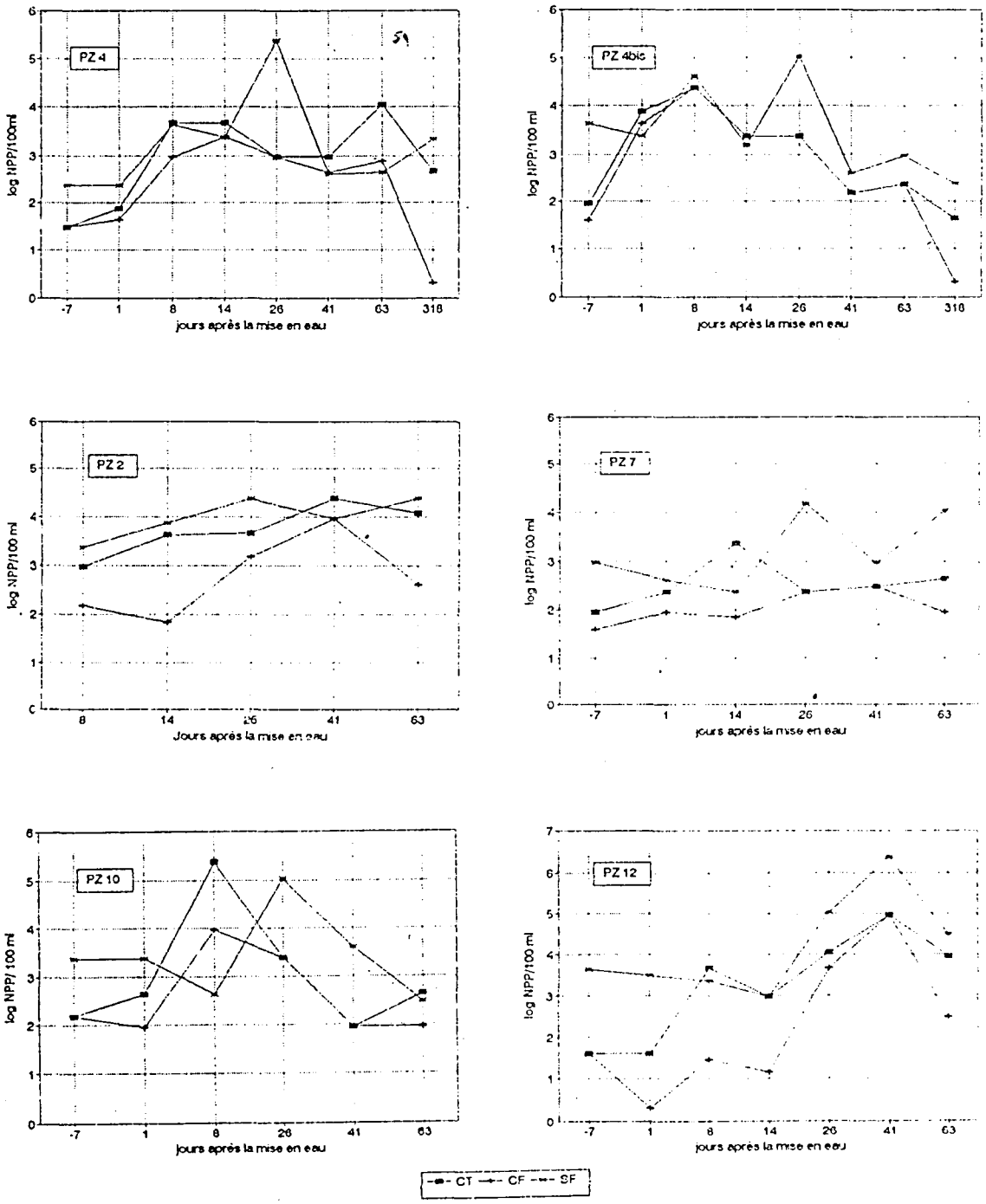


Fig. 2b: Evolution de la teneur des eaux de la nappe en GTCF
au niveau des piézomètres PZ4, PZ4bis, PZ2,PZ7,PZ10 et PZ12

PC1 et PC2

Les deux piézomètres de contrôle PC1 et PC2, bien qu'ils soient situés en amont du dispositif de recharge subissent l'influence de cette opération.

Au niveau du PC2, les résultats obtenus une semaine avant et un jour après le démarrage de la recharge sont de même ordre de grandeur (fig. 2a). Par contre, au niveau du PC1, les résultats obtenus avant une semaine sont considérablement plus élevés que ceux correspondants au contrôle effectué après un jour de recharge. Cette importante différence (supérieure à 4 log pour les CF) prouve l'importance du pompage avant le prélèvement des échantillons destinés à l'analyse microbiologique. L'erreur qui peut résulter de l'absence de cette précaution est susceptible de masquer entièrement l'effet de la recharge.

Au démarrage de l'opération, la qualité bactériologique des eaux est à peu près équivalente au niveau des deux piézomètres. Pendant les 14 premiers jours de recharge, aucun changement significatif de la teneur des eaux en GTCF n'est observé au niveau de ces PZ. Après 26 jours, une importante augmentation de la contamination des eaux est observée. Les concentrations maximales sont atteintes simultanément dans les deux piézomètres et en même temps pour les trois paramètres mesurés. Pour les coliformes et les coliformes fécaux, l'augmentation de la teneur des eaux par rapport aux valeurs initiales est plus importante au niveau PC2 qui est situé beaucoup plus près des bassins d'infiltration que le PC1. Après 41 jours de recharge, les concentrations bactériennes entament une évolution à la baisse. Au niveau des deux piézomètres, les eaux retrouvent le niveau de qualité bactériologique initial dans le contrôle effectué après 63 jours de la mise en eau des bassins d'infiltration. A cette date, les injections d'EUT avaient cessé depuis 19 jours. Au niveau du PC1, le contrôle effectué environ un an après l'opération prouve le retour de la qualité des eaux de la nappe à l'état initial.

L'évolution de la qualité bactériologique des eaux captées par ces deux piézomètres confirme le fait que la direction ouest ait constitué l'un des axes privilégiés de recharge au début de l'opération et qu'après 40 jours, la propagation, dans cette direction, de l'eau injectée se soit bloquée (6).

PZ 4 et PZ 4 bis

Une semaine avant le démarrage de l'opération, la teneur en CT et en CF des eaux captées par ces deux piézomètres est sensiblement la même. Après le commencement de la recharge, la teneur des eaux en GTCF augmente au niveau des deux piézomètres mais cette augmentation est plus rapide et beaucoup plus importante au niveau du PZ 4 bis : Elle est de l'ordre de 2 unités log après 1 jour seulement de recharge.

Au niveau du PZ 4, les teneurs maximales des eaux en CT et CF sont plus faibles que celles atteintes dans les eaux du PZ 4 bis (Fig. 2b). Pour les CF, le pic est enregistré après 8 jours de recharge dans le cas du PZ 4 bis et après 14 jours de la mise en eau des bassins dans le cas du PZ 4.

Dans le contrôle effectué 26 jours après la mise en eau des bassins, le niveau de contamination en CT et CF reste constant alors que le nombre des SF augmente considérablement dans les eaux des deux PZ. Cette importante augmentation serait due à la remontée de la nappe qui aurait provoqué la mise en suspension des streptocoques fécaux d'origine tellurique.

Lors du contrôle effectué après l'arrêt des injections d'EUT dans les bassins d'infiltration, l'eau présente dans les deux piézomètres un niveau de contamination en GTCF plus élevé mais non significativement différent du niveau initial. Environ un an après l'opération, l'eau du PZ4 présente une teneur en CF située à la limite de détection de la méthode analytique utilisée.

PZ 2

Compte tenu de la profondeur du PZ 2, il n'était pas possible d'y prélever des échantillons d'eau avant, ni au démarrage de la recharge.

Entre le 8ème et le 63ème jour de recharge, le nombre des CT et des SF dns l'eau du PZ 2 augmente régulièrement mais d'une façon non significative. Par contre, la teneur de l'eau en CF qui constituent les meilleurs indicateurs de la présence des pathogènes augmente régulièrement et significativement entre le 14ème et le 41ème jour de recharge. L'augmentation de la contamination des eaux en CF traduit un important affaiblissement de la capacité épuratoire du sol. Cet affaiblissement de l'épuration par le sol serait due, en partie, à la remontée du niveau de la nappe qui entraîne une diminution de l'épaisseur de la zone non saturée.

Les observations effectuées sur le dispositif de recharge ont permis de constater qu'après deux semaines d'injection d'EUT, un colmatage se développe et entraîne la submersion des plages d'infiltration (6). Ce phénomène contribuerait au développement d'une anaérobiose qui serait la principale cause de l'affaiblissement de l'épuration par le sol. En effet, l'émination des micro-organismes véhiculés par les eaux usées infiltrées est assurée par la microflore aérobie du sol. Pour que cette microflore reste active, il faut qu'elle trouve l'oxygène nécessaire à son métabolisme. Il faut donc infiltrer en aérobiose. Or, le mode opératoire suivi n'a pas permis un approvisionnement suffisant et continu du sol en oxygène.

PZ 7

Pour les trois groupes de germes recherchés, aucune variation significative de la teneur des eaux n'est observée durant toute la durée du suivi. Cette observation confirme les résultats précédemment obtenus sur ce même dispositif. En effet, l'étude de la répartition de l'eau injectée dans la nappe (6) avait permis de constater que le PZ 7 était peu concerné par les eaux usées infiltrées.

PZ 10

Au niveau de ce piézomètre, l'effet de la recharge par les EUT est rapidement ressenti : Les concentrations maximales des eaux en CT et en CF sont atteintes après 8 jours du démarrage de l'opération (Fig.2b). Après 26 jours de recharge, lorsque les concentrations bactériennes commencent à augmenter dans la plupart des piézomètres, elles entament une baisse au niveau du PZ 10. Dans le contrôle effectué 41 jours après le commencement de la recharge, les teneurs en GTCF ont déjà retrouvé leur niveau initial.

Par deux paramètres (CT et SF) parmi les trois étudiés, les teneurs maximales enregistrées dans les eaux du PZ 10 sont de même ordre de grandeur que celles retouvées dans les EUT injectées dans les bassins. Cette faible qualité des eaux infiltrées s'explique, en partie, par l'horizon de captage de ce piézomètre.

Au niveau du PZ 10, l'influence de la recharge par les EUT se manifeste au début de l'opération et durant une période relativement limitée.

PZ 12

Au niveau de ce piézomètre, l'effet de la recharge par les EUT est plus fortement ressenti qu'au niveau de tous les autres points de contrôle. L'amplitude de la variation des concentrations bactériennes dépasse trois unités log pour les trois groupes de germes étudiés. Dans le cas des CF, l'augmentation de la teneur des eaux par rapport à l'état initial est de 4,7 unités log. Les plus fortes concentrations bactériennes sont enregistrées après 41 jours de recharge. Le contrôle

effectué après l'arrêt des injections d'EUT met en évidence une baisse des concentrations en GTCF mais le niveau de ces concentrations reste plus élevé (significativement pour CT et CF) que celui déterminé au démarrage de l'opération.

L'impact de la recharge par les EUT est beaucoup plus important au niveau de ce PZ qu'au niveau du PZ 10 et du PZ 7 qui sont pourtant plus proches des bassins et qui ont un horizon de captage moins profond. Cela prouve que la zone où se situe le PZ 12 est plus concernée par les eaux infiltrées que celles correspondantes aux emplacements des deux autres piézomètres.

CONCLUSION

1. Le renouvellement de l'eau des piézomètres avant le prélèvement des échantillons destinés à l'analyse microbiologique est une importante précaution. Son absence peut affecter considérablement la signification des résultats.

2. L'impact négatif de la recharge artificielle par les EUT sur la qualité microbiologique des eaux de nappe est limité dans le temps.

3. L'importance de la contamination bactérienne des eaux de nappe suite à la recharge par les EUT dépend de plusieurs facteurs :

- La contamination s'affaiblit lorsque la distance par rapport aux bassins d'infiltration augmente.

- L'épuration par le sol est moins poussée lorsque l'épaisseur de la zone non saturée traversée par les eaux infiltrées est plus faible.

- L'importance et la durée de la contamination bactérienne des eaux de la nappe sont fonction de la direction des écoulements en zone saturée.

4. Les résultats bactériologiques confirment dans leur ensemble les axes privilégiés de recharge tels qu'ils ont été déterminés après traçage isotopique des EUT injectées dans les bassins d'infiltration.

5. Le pouvoir auto-épurateur du sol est faible. Cette faiblesse est essentiellement due au mode de gestion du dispositif de recharge qui n'a pas permis un approvisionnement suffisant et continu du sol en oxygène.

6. L'amélioration de l'épuration par le sol nécessite d'infiltrer en aérobiose ce qui revient à augmenter l'intermittence des injections d'EUT.

BIBLIOGRAPHIE

1. BIZE J. - Recharge artificielle des nappes avec les eaux usées. Journées "Eaux - Santé - Environnement". Tunis 27-28 Février et 1er Mars 1985.

2. BOUWER H. - Wastewater Reuse in Agriculture. Workshops on the Management of Urban Waste and on Wastewater Reuse in Agriculture. Tunis, April 7-28, 1983.

3. SOULIE, M. et TREMEA LANCAR, L. - Technologie pour le traitement et la réutilisation des eaux usées dans le bassin Méditerranéen. 3ème rencontres de l'Agence régionale pour l'environnement. Provence - Alpes - Côte d'azur, 25 - 26 - 27 Septembre 1991.

4. TRAD RAIS M. - Efficacité bactériologique des principaux procédés de traitement des eaux usées urbaines. Archs Inst. Pasteur Tunis, 1992, 69 (3-4), 273-282.

5. TRAD RAIS M. - L'irrigation par les eaux usées traitées sur le périmètre de Cebala. Aspects microbiologiques. Note CRGR. Janvier 1994.

6. REKAYA, M. et BRISSAUD, F. - Recharge de la nappe de l'Oued Souhil par des affluents secondaires. XXIème journées de l'hydraulique Sophia Antipolis 29-31 Janvier 1991.

CNDA 9178

EPANDAGE SOUTERRAIN SOUS PRESSION
CONCEPTION ET EVALUATION D'UNE FILIERE DE TRAITEMENT

A Zairi*, J. Lesavre **

*** Centre de Recherche du Génie Rural, Tunisie**

**** Centre de Recherche et d'Essais Appliqués aux Techniques de l'Eau - AFBSN, France**

RESUME

L'épandage souterrain sous pression des eaux usées de petites collectivités constitue l'une des solutions permettant d'aboutir simultanément à une épuration et une évacuation correctes des effluents.

La mise en œuvre d'une distribution localisée souterraine issue des techniques employées en irrigation localisée a permis de maîtriser l'équirépartition et le dosage de l'effluent sur la plage d'infiltration.

De tels objectifs n'ont pu être atteints qu'en utilisant des ajutages de faible diamètre, sélectionnés pour résister au colmatge. Ces choix technologiques ont imposé l'étude complète d'une nouvelle filière d'épuration : prétraitement (décantation-filtration), enrobage du réseau au sein du sol (emploi de géotextiles, tubes coaxiaux), conception de nouveaux distributeurs (ajutages élastiques).

Les études hors sol ont servi de base d'essais à des épandages souterrains expérimentaux.

Le drainage partiel effectué sous le réseau a montré l'excellente épuration obtenue sur la pollution carbonée, la nitrifiction de l'azote Kjedhal.

Le suivi du fonctionnement hydraulique été effectué par détermination géophysique de la résistivité du sol. Cette technique d'investigation a permis de suivre l'évolution spatio-temporelle de l'humidité des épandages par traitement cartographique des données. L'engorgement progressif du sol au cours du temps, ainsi visualisé, impose une alternance des phases d'alimentation et de repos des épandages.

Mots clés : Eaux Usées - Assainissement groupé - Epandage souterrain - Réseaux sous pression - Irrigation localisée - Dimensionnement - Filtre - Géotextile - Résistivité - Humidité du sol.

INTRODUCTION

L'assainissement groupé par groupement d'habitations consiste à utiliser le sol (en place ou rapporté) pour épurer les effluents provenant de plusieurs habitations.

A la frontière entre l'assainissement collectif intensif et l'assainissement autonome individuel, l'assainissement groupé constitue une troisième voie à explorer qui permettra de répondre à la diversité des stations rencontrées sur le terrain : hameaux éloignés de l'agglomération, topographie nécessitant l'éclatement des dispositifs d'épuration, absence de milieu récepteur, rejet dan une zone sensible..

La libre utilisation de la parcelle et l'absence de nuisances (odeurs) contribuent également au bon niveau de confort de l'usager. De plus, la concentration des moyens devrait permettre de mettre en œuvre des technologies plus performantes.

L'assainissement groupé constitue un axe de recherche à promouvoir de manière à définir les solutions techniques à mettre en œuvre. Celles qui sont actuellement proposées constituent une extrapolation plus ou moins hasardeuse des dispositifs rencontrés en assainissement autonome (Fazio, 1987).

Le sol constitue un système épurateur puissant si les conditions physico-chimiques favorables sont réunies pour mobiliser la masse considérable des micro-organismes pouvant décomposer la matière organique. Catroux (1971) estime de 1 à 2 tonnes en matière sèche la quantité de micro-organismes présents par hectare, ce qui équivaut à 600 m3 de boues activées à 3 g/l.

La diversité de ces micro-organismes assure une importante inertie au système face aux variations qualitatives et quantitatives des matières à dégrader. De plus, la présence endémique de cette microflore réduit considérablement la phase de mise en régime observée dans les stations d'épuration classique.

On rappelle que la décomposition de la matière organique peut s'effectuer selon deux processus biochimiques (Martin, 1979) :

En absence d'air, la dégradation de la matière organique aboutit à la libération de CO_2 et de CH_4 principalement. Il apparaît systématiquement un dégagement d'H_2S. L'azote ammoniacal n'est pas nitrifié, la dégradation de la DBO_5 est partielle et les vitesses de réactions sont faibles.

En présence d'oxygène, on observe une dégradation poussée et rapide de la matière organique conduisant, au stade ultime, à la production de H_2O et CO_2. L'azote ammoniacal est nitrifié.

C'est donc sur ce deuxième principe que reposent les différents procédés d'épuration par le sol. La diffusion de l'oxygène est obtenue en maintenant dans le massif épurateur un écoulement non saturé.

Dans le cas de l'épandage souterrain, pour ne pas nuire à l'aération de la matrice épuratrice, le sol doit donc nécessairement présenter des capacités d'infiltration compatibles avec les doses apportées. Cette capacité réceptrice vis à vis de l'effluent à épurer, généralement appréciée par la valeur de perméabilité à saturation en eau propre, évolue en fonction des matières véhiculées par l'eau usée et stockées dans le sol. Une préparation de l'effluent s'avère donc nécessaire pour réduire le colmatage . Le prétraitement choisi doit rester rustique pour limiter les contraintes d'entretien .

La capacité épuratrice du sol est directement liée à sa ca pacité d'aération elle même intimement dépendante de l'humidité .

C'est ainsi que le coefficient de diffusion de l'oxygène passe de 10^{-2} cm ^{2}/s dans un sol agrégé sec à 10^{-6} cm ^{2}/s dans un sol complèlement saturé (Gougoussis. 1978) .

L'alimentation syncopée des épandages souterrains, à la base du renouvellement de l'oxygène, agit également considérablement car elle conditionne l'humidité volumique du massif : pour une même dose infiltrée l'augmentation de la fréquence des apports-peut conduire à l'asphyxie du sol (Thomas et al 1968) .

La capacité évacuatrice du sol constitue également un paramètre important car la restitution des effluents épurés dans le milieu souterrain est en général recherchée . Il faudra donc veiller à ce que l'épaisseur de la zone insaturée sous les drains d'alimentation reste compatible avec les performances épuratoires escomptées .

Outre les phénomènes d'aération, le transit trop rapide de l'eau conduit à une mauvaise épuration car le temps de séjour de l'effluent devient alors incompatible avec les cinétiques de dégradation .

La décontamination de l'effluent peut être réduite considérablement par l'augmentation du degré de saturation, facteur favorable au déplacement des germes .

Toutes ces considérations varient bien évidemment d'un sol à l'autre .

Les capacités réceptrices et évacuatrices représentent des caractéristiques intrinsèques d'un sol : le dimensionnement des épandages est fonction de la perméabilité tandis que la proximité d'une nappe ou sa remontée sous le dispositif d'infiltration conduit à choisir des filières adaptées (exemple : tertre d'infiltration) ou à des aménagements (drainge de dispositif) pour conserver une épaisseur suffisante à la zone insaturée .

De nombreuses études sur colonnes ont permis de dégager les grands principes qui régissent le pouvoir épurateur du sol . On peut d'ailleurs considérer que le lit bactérien rencontré en station d'épuration constitue une adaptation de ces principes sur un granulat de taille suffisante pour limiter les phénomènes de colmatage et faciliter la circulation de l'air .

Compte-tenu du diamètre élémentaire des particules véhiculées, les charges hydrauliques admissibles sur un sol sont de l'ordre de quelques centimètres par jour au maximum, les superficies mobilisées sont donc très importantes .

Le concepteur se trouve alors désarmé car aucune technologie éprouvée ne lui est offerte pour mettre en oeuvre un épandage collectif de manière rationnelle .

Plews et Dewale (1984) concluaient après évaluation des performances de 369 dispositifs collectifs que l'équi-répartition de l'effluent sur toute la surface d'infiltration constitue le paramètre fondamental à maîtriser pour assurer une bonne épuration de l'effluent. La distribution gravitaire utilisée en assinissement autonome s'avère difficilement transposable lorsque le linéaire des drains est important .

Ward et Morrison (1984) notaient également que les besoins en recherche pour l'amélioration du fonctionnement et des performances des systèmes d'épuration par le sol passaient par :

- l'uniformité de la distribution des effluents,
- la maîtrise des doses appliquées .

La distribution sous-pression des effluents est une technique qui répond parfaitement à ces deux objectifs .

Classiquement le systéme sous pression se compose d'un prétraitement, d'une pompe et d'un réseau de distribution. Par rapport à une alimentatin gravitaire seuls les drains ont subi une modification : l'eau est distribuée à l'aide de tubes de faibles diamètres percés de trous régulièrement espacés (Hart, 1979; Carlile, 1981) . Par contre, la mise en oeuvre des drains dans le sol reste inchagée . Ainsi, les systèmes sous pression actuellement installés constituent une évolution logique de la conception des épandages unifamiliaux .

L'expérience acquise par des travaux antérieurs en micro-irrigation avec des eaux résiduaires nous a conduit à une démarche inverse. Pour l'irriguant, l'uniformité de la distribution et la maîtrise des quantités d'eau délivrées des impératifs draconiens. Pour parvenir à les satisfaire, il existe toute une panoplie de techiques d'irrigation . Parmi cet éventail, nous avons sélectionné celle qui apparaîssait la facile à adapter à la fonction d'équi-répartition d'un effluent : la micro-irrigation .

La micro-irrigation constitue la technique d'arrosage qui offre le maximun d'intérêt notamment en raison de la possibilité d'enterrer le réseau ce qui présente à notre sens de nombreux avantages : absence d'odeur, réduction du risque sanitaire, bonne intégration dans le site, conservation d'une activité agricole en surface ...

Cependant l'enfouissement d'un tel réseau véhiculant une eau de mauvaise qualité requiert des modifications, une sélection du matériel existant et implique la remise en cause de chaque élément de la filière classique utilisée en épandage souterrain gravitaire .

Ce travail expérimental est axé sur la définition de chaque élément d'une filière d'épandage souterrain sous pression afin d'apporter des solutions techniques à l'épuration par le sol des effuents de petites collectivités .

La dépollution des eaux résiduaires cinstitue le champ d'application privilégié de cette étude; il peut être aisément élargi à la valorisation agricole des eaux résiduaires par irrigation localisée de subsurface .

Les travaux ont être répartis en deux groupes :

- Les essais hors sol;
- Le suivi d'épandages expérimentaux

II - LES ESSAIS HORS SOL

Ils permettent d'effectuer des choix technologiques tout en s'affranchissant de la difficulté d'investigation inhérente à l'enfouissement . Ces essais préliminaires ont intéressé les éléments suivants :

II - 1. Sélection des distributeurs résistant au colmatage .

Les essais ont visé 13 types de distributeurs préalablement sélectionnés pour leur résistance au colmatage physique (CEMAGREF, 1989) . L'essai a été réalisé à partir des eaux résiduaires urbaines traitées soit par décantation, par tamisage (coupure de la toile 125 um) .

Les distributeurs résistants au colmatage (perte moyenne du débit comprise entre 2 et 10 %) sont simples, à orifices larges et à débits importants . Nous avons sélectionné pour le reste de l'étude, l'ajutage Bas-Rhône de 1.2 mm de diamètre et débitant 60 l/h à 0.3 bar de pression .

II - 2. Etude et mise au point de nouveaux distributeurs : les ajutages élastiques.

Pour minimiser les risques d'obstruction, des recherches ont été menées pour concevoir des distributeurs dont la section de passage varie avec la charge. Les distributeurs élastiques réalisés par incision longitudinale de 3 à 10 mm dans un tube d'élastomère approprié permettent de minimiser ces risques, car la fente s'ouvre uniquement lorsque la pression interne augmente et se referme lorsqu'elle diminue.

Le débit d'un distributeur évolue selon une loi du type q - aH^{o} (H : charge au niveau de l'orifice, a et o : constantes). Cette loi a été déterminée sur banc expérimental à pression contrôlée et ce pour différents matériaux (polymères). La figure n° 1 montre un exemple de courbes q = f(H) obtenues pour trois matériaux différents.

Le distributeur de matière Nitrile (diamètre 18 x 24 mm, fente 9 mm) a présenté une résistance aux sollicitations imposées par des alimentations répétées : il sera testé en épandage souterrain. Ce distributeur élastique débite 60 l/h à une pression de 0.5 bar.

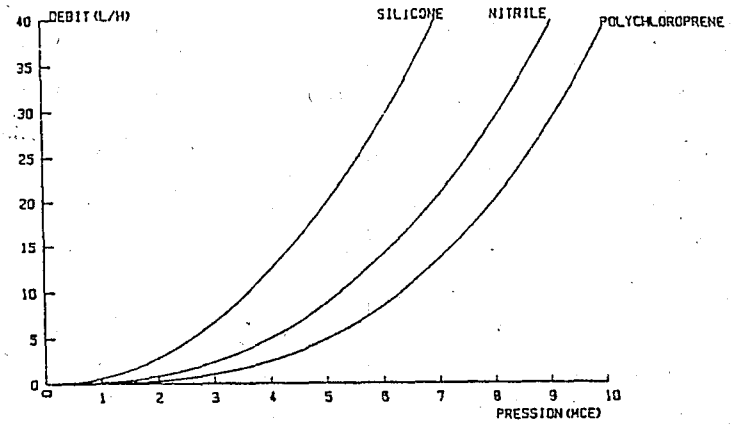


Fig. 1 : Variation de la loi débit - pression en fonction du matériau
Tube 12*17 Fente = 4 mm Longueur = 8 cm

II - 3. Choix d'un prétraitement adapté aux distributeurs sélectionnés.

Le bon fonctionnement hydraulique d'un réseau d'épandage souterrain localisé nécessite un conditionnement préalable de l'effluent brut. Bien que de multiples causes peuvent être à l'origine du colmatage, il s'avère impératif d'éliminer au minimum la fraction de la pollution particulaire dont la taille est supérieure aux organes de distribution du réseau.

Quand leur dimensionnement et leur entretien sont bien réalisés, la fosse septique et le décanteur - digesteur assurent avec fiabilité la rétention des matières en suspension (MES). Mais le principe de fonctionnement de ces appareils est basé sur la décantabilité des matières à piéger et non pas sur une sélection granulométrique des MES. Ainsi, dans le cas d'un réseau muni d'orifices de faibles diamètres, les relargages intempestifs des boues de fond ou des flottants peuvent provoquer un colmatage plus ou moins irréversible du réseau.

Seuls les filtres peuvent garantir une qualité granulométrique de l'effluent de sortie, mais les rendements observés sont faibles. L'une des possibilités pour obtenir un prétraitement performant vis-à-vis du réseau de distribution retenu consiste à associer les principes de décantation et de filtration. Par gravité on élimine les matières en suspension décantables, et les particules labiles de grosse taille sont retenues ensuite par un tamis de sécurité. Le dispositif de prétraitement doit stocker les boues en vue de leur traitement et de leur évacuation.

Les critères d'efficacité et de rusticité ont conduit à sélectionner un filtre à tamis immergé et auto-décolmatant. Le filtre, de débit théorique de 20 m3/h en eau claire et muni d'une toile de 180 microns, a été immergé dans le cône de rétention d'un décanteur-digesteur circulaire. Ce dernier devant assurer une prédécantation de l'effluent et permettre un stockage et une minéralisation des boues recueillies. Ainsi mis en œuvre, le tamis assure une filtration de sécurité.

Le décanteur est prévu pour une population maximale de 30 habitants. Comme les débits traversiers imposés par les expérimentations à l'aval sont relativement importants, il faut donc considérer ce décanteur uniquement comme une capacité tampon destinée à faire fonctionner le filtre dans les conditions difficiles.

Les rendements du couple décanteur-filtre ont été observés pour une période de fonctionnement de 350 jours. Il en ressort que :

- sur le plan hydraulique, le débit nominal de filtration est de 10 m3/h pour un débit de décolmatage de 2.5 m3/h (25%). Il faut donc apporter un facteur de correction de 50% par rapport au débit théorique à l'eau claire.

- pour ce qui est des performances épuratoires, elles demeurent faibles : 20% de réduction des MES et de la DCO, et 15% pour la DBO_5.

II - 4. Etude de l'environnement immédiat du réseau enterré : utilisation des géotextiles en remplacement de la tranchée de gravier.

Parmi les problèmes que pose l'épandage souterrain, vu notamment sous l'aspect interaction distributeur-eau-et sol, le colmatage est surtout le facteur qui peut compromettre la pérennité du système.

Actuellement, la protection des tuyaux enterrés est d'usage de plus en plus confirmé en drainage agricole. Par contre, si on exclut les matériaux granulaires (garvier, sable...), les éléments de littérature dont on dispose montrent que cette protection est quasi absente en épandage souterrain unifamilial ou semi-collectif.

Or, le type de colmatage le plus fréquent est le colmatage minéral, vis-à-vis duquel les matériaux en vrac sont peu efficaces.

C'est pourquoi, nous avons envisagé d'enrober les rampes par un produit pouvant constituer une interface entre le sol et le réseau. Les modalités de fonctionnement de l'ensemble rampe-distributeur et produit d'enrobage doivent, notamment du point de vue hydraulique, répondre aux objectifs fixés par l'étude, à savoir l'équirépartition de l'effluent sur toute la surface d'infiltration.

Réputés comme imputréscibles dans les milieux biologiquement actifs, les fibres de polymères synthétiques (géotextiles) offrent une filtration sélective des particules de sol susceptibles de pénétrer et de sédimenter dans la lumière du tuyau enrobé.

L'ouverture de filtration du produit, son épaisseur et sa structure sont de première importance. L'emploi du géotextile comme anti-contaminant exige aussi une résistance mécanique suffisante pour ne pas être déchiré ou déplacé par le courant d'eau.

. Le choix d'un géotextile qui répond à ces exigences a été fixé suite à une étude expérimentale d'une durée de 11 mois. Il s'agissait de soumettre la rampe d'alimentation avec son produit d'enrobage à des conditions de fonctionnement sévères dans le but de sélectionner un géotextile approprié pour des expérimentations sur un site réel. Nous nous sommes intéressés en particulier à la distribution linéaire de l'eau à partir d'une source ponctuelle et au comportement du géotextile vis-à-vis des MES contenues dans l'effluent.

Parmi sept géotextiles testés nous avons sélectionné un matériau composite qui dispose d'un pouvoir répartiteur et d'une faculté de décolmatage satisfaisante, eu égard à l'importance de sa transmissivité ($4.44\ 10^{-4}\ m^2/s$). Ce géotextile bénéficie en plus d'une épaisseur importante (20 mm) qui devrait lui permettre de jouer un rôle de réservoir, équivalent à celui de la tranchée de gravier dans laquelle sont disposés les drains en assainissement autonome.

III - SUIVI D'EPANDAGES EXPERIMENTAUX

L'objectif consiste à tester les choix technologiques effectués à partir des essais hors - sol. Les modifications hydrauliques qu'engendrent la contre pression exercée par le sol sur les rampes et le phénomène de colmatage des organes d'injection, seront examinées.

III - 1. Dispositif expérimental

III - 1.1. Configuration des éléments distributeurs

Le choix a été fixé sur les trois variantes suivantes :

Rampe géotextile

La rampe (ø 25 mm) est équipée de distributeurs Bas-Rhône (ø 2,1 mm) disposés entre deux nappes de géotextile de 20 cm de large.

Rampe élastique

La rampe en polyéthylène est munie de distributeurs élastiques : nitrile ø 18 x 24 mm. Le débit d'un distributeur est de 60 l/h à 0,5 bar. Aucune protection n'est prévue pour ce système qui doit résister au colmatage externe..

Rampe drain

La rampe en polyéthylène, équipée de distributeurs Bas-Rhône, est placée co-axialement dans un drain d'assainissement autonome afin d'en améliorer la fonction distributrice.

Ce dernier assure la protection des distributeurs et joue le rôle de réservoir (effet tampon). Les fentes du drain sont orientées vers le bas.

* Caractéristiques du drain ; diamètre : 10 cm, longueur des fentes : 9,5 cm, largeur des fentes : 0,5 cm, écartement entre deux fentes : 12 cm.

III - 1.2. Caractéristiques d'une rampe

- longueur totale : 10 m
- écartement entre deux distributeurs : 0,75 m
- nombre de distributeurs par rampes : 13
- débits hors sol des rampes :

* un distributeur Bas-Rhône débite 60 l/h à 0,3 bar, le débit des rampes drains et géotextiles s'élève donc à 60 x 13 soit 780 l/h,

* le débit des rampes élastiques est du même ordre pour une pression de 0,5 bar.

- chaque rampe comporte un débimètre, un régulateur de pression et un manomètre.

Les rampes son alimentées automatiquement par la pompe de mise en pression et sont contrôlées par un système d'électrovannes.

III - 1.3. Disposition des rampes dans le sol

Le site expérimental de superficie 500 m2 a été divisé en quatre parcelles (Fig. 2) :

- trois parcelles de 100 m2 (10 m x 10 m) équipées des réseaux décrits plus haut
- une parcelle témoin, ne disposant pas de réseau d'injection, cette parcelle joue le rôle de référence pour les mesures d'humidité et le contrôle des eaux météoriques.

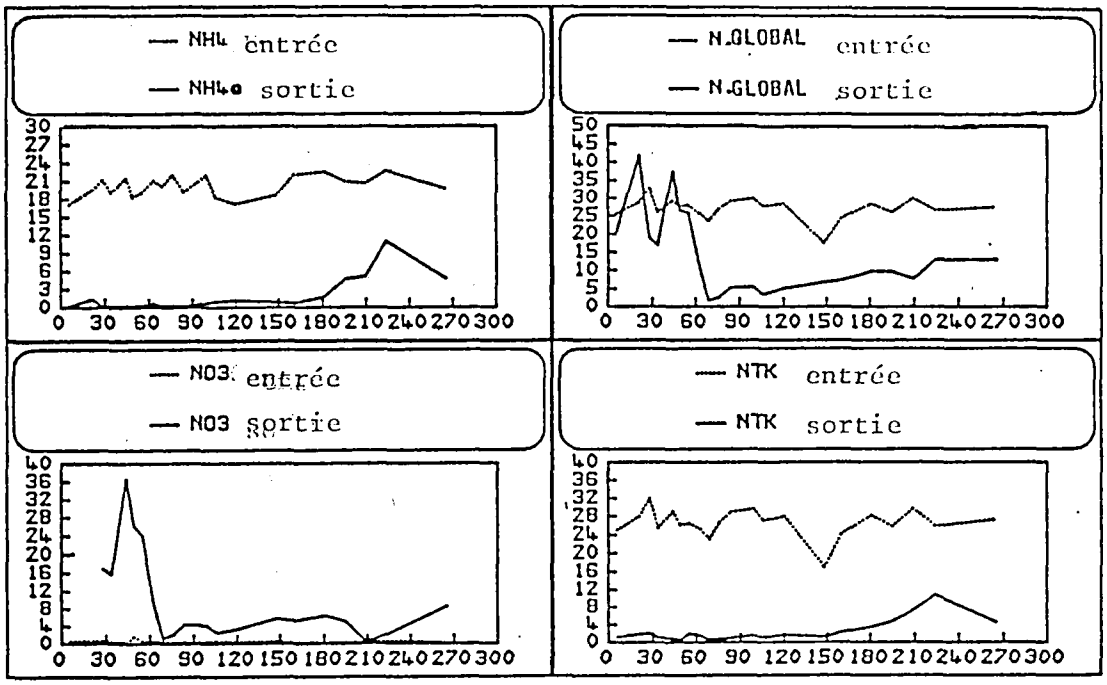


Fig. 7 : Evolution des différentes formes de l'azote dans le temps en dessous de la rampe élastique

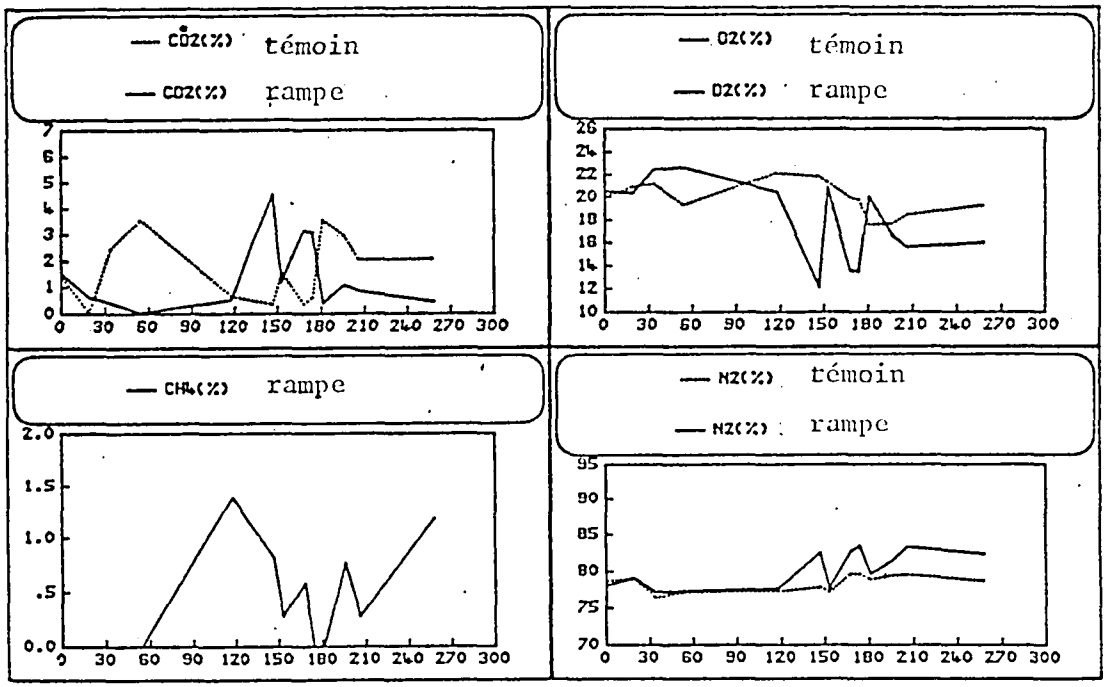


Fig. 8 : Evolution des proportions des gaz dans le temps au niveau de la rampe élastique

Chaque épandage est équipé de deux rampes disposées dans le sens de la longueur du terrain. Cette disposition est perpendiculaire à la pente naturelle du sol.

Les rampes sont enterrées à 40 cm de profondeur.

Rappelons qu'il s'agit d'un épandage expérimental visant à définir le champ d'action de chaque rampe. Ainsi les deux rampes seront espacées de 3 mètres pour éviter un recouvrement éventuel des zones d'influence.

III - 1.4. Aptitude du sol à l'épandage

Le sol est limono-sableux, et les limites de perméabilité établies par le CEMAGREF pour l'assainissement individuel classent ce sol comme "assez perméable" (CEMAGREF, 1980).

L'estimation de la charge hydraulique admissible, compte tenu de la conductivité hydraulique du sol (20-50 mm/h), peut être évaluée à partir des abaques de dimensionnement du "Manuel of Septic tank Practice". Ces abaques indiquent, dans ce cas, une charge hydraulique dans la gamme 20 à 35l/m2 soit 2 à 3,5 cm/j.

Notons que ces valeurs ne constituent dans le cadre de ces essais qu'une indication approximative des doses à appliquer.

III - 1.5. Méthodes d'investigation

Le suivi de la répartition spatio-temporelle de l'effluent est assuré par mesure de la résistivité géophysique du sol à trois niveaux de profondeur : 15,30 et 75 cm en balayant la surface du terrain avec des dispositifs WENNER (765 mesures par carte) :

Ces mesures ont été couplées avec des mesures neutroniques et tensiométriques .

Les variation des valeurs de résistivité d'un niveau à l'autre n'est par uniquement le fait d'un état hydrique, mais intègre également l'hétérogénéité du sol et l'effet des variations climatiques. Des corrections s'imposent pour exploiter comparativement les cartes de résistivité .

Le principe des corrections climatiques est emprunté à Hesse (1966, 1978) et porte sur la multiplication par un coefficient caractéristique de l'amplitude de la variation climatique obtenu au niveau de la parcelle témoin.

Afin de visualiser uniquement l'impact de l'injection de l'effluent nous avons retranché sur chaque carte corrigée des effets climatiques, les valeurs initiales de résistivité du terrain .

Les cartes d'isovaleurs ainsi obtenues sont construites à partir de la différence entre les valeurs de résistivité initiales du sol et celles après épandage (plus cette différence est importante, plus l'humidité du sol est élevée).

Les performances épuratoires de chaque variante sont déterminées à partir de :

- l'analyse du percolat recueili au niveau des bacs placés à 40 cm en dessous des rampes : MES, DBO, DCO, N, P et germes témoins de contamination fécale .

- l'analyse des gaz du sol : O2, CO2, N2 et CH4 .

III - 2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III - 2. 1. Evolution spatiale de l'humidité

Les essais se sont déroulés sur une période de neuf mois . Le rythme journalier des injections est de 9 alimentations de 10 minutes chacune, séparées par des temps de ressuyage de 2h30 . Ces conditions initiales adoptées dans une première phase expérimentale ont été modifiées au cours de l'étude ce qui a conduit à distinguer deux phases supplémentaires .

- Etude de la première période d'alimentation

Cette période de durée un mois a permis de connaître les débits des rampes enterrées par comparaison aux conditions hors sol (tableau n° 1)

Seules les rampes-drains ont conservé leur débit hors sol, car ces rampes ne subissent pas la contre-pression du sol. Notons que la capacité d'emmagasinement du drain (78 litres) correspond à la moitié de la dose apportée à chaque alimentation .

Les figures 3 et 4 montrent l'évolution spatiale de l'humidité, au niveau des rampes, durant la première période. Les courbes iso-valeurs de ces cartes expriment les variation de la resistivité imputables à l'injection de l'effluent pendant 19 jours .

les rampes-drains et les rampes élastiques présentent des foyers à forts gradients de résistivité . La persistance de ces foyers à 75 cm laisse craindre un écoulement rapide de l'eau en profondeur .

Si on estime que la propagation de l'eau est d'environ 0,5 m de part et d'autre de la rampe élastque, soit au total 10 m² de surface d'épandage, alors la lame d'eau journalière appliquée est de l'ordre de 35 l/m² . On se situe donc dans les limites de la charge hydraulique admissible . De ce fait, nous pensons qu'il est intéressant dans le cas des rampes élastiques de conserver les mêmes pressions d'alimentation pour la suite des essais .

En ce qui concerne les rampes-drains, il semble que l'importance des doses appliquées provoque un écoulement préférentiel centré au niveau des noyaux de fortes différences de résistivités . Dans le cas de ces rampes, les doses seront réduites par diminution du temps d'alimentation .

La répartition de l'eau autour des rampes géotextiles est uniforme comparativement aux autres rampes . La présence du géotextile est probablement à l'origine de cette uniformité relative .

Cependant, les débits appliqués sont relativement faibles par rapport aux autres parcelles. Pour mieux établir des moyens de comaraison, une augmentation de la pression s'impose pour ramener les débits des rampes géotextiles au même niveau que ceux des rampes élastiques .

Tableau n° 1 : rabattement des débits des rampes enterrées

	Rampes Drains	Rampes Géotextiles	Rampes Elastiques
Période 1			
Pressions (bar)	0,3	0,3	0,5
Volume journalier (1)	1150	245	355
Débit (l/h)	765	163	235
Rabattement (%)	2	80	70
Période 2			
Pressions (bar)	0,3	0,4	0,5
Volume journalier (1)	425*	295	310
Débit (l/h)	566	196	206
Rabattement (%)	27	78	73
Période 3			
Pressions (bar)	0,2	0,3	0,4
Volume journalier (1)	300	196	225
Débit (l/h)	400	130	150
Rabattement (%)	37	83	74

* Débits calculés sur la base de 45 mn de fonctionnement (9 fois 5 mn), ce qui représente la moitié du temps d'alimentation des autres rampes .

- Etude de la deuxième période d'alimentation

La durée de cette période est environ 4 mois. Les conditions de fonctionnement intègrent les modifications envisagées lors de la première phase (tableau n° 1).

On n'observe aucune évolution du rabattement des débits des rampes géotextiles et élastiques par rapport à la première période d'alimentation . Paradoxalement celui des rampes-drains accuse une hausse significative (27%), bien que le volume injecté à chaque alimentation (65 l) soit inférieur à la capacité d'emmagasinement du drain . Il est probable que le manque de pression dans le drain est à l'origine de ce rabattement.

On enregistre, cependant, une amélioration de la distribution de l'eau autour des rampes géotextiles et élastiques par rapport à la première période et une augmentation progressive de l'humidité sur l'ensemble des parcelles d'épandage .

A titre comparatif, nous avons groupé au tableau n°2 les variations de résistivité observées à 30 cm de profondeur, relatives aux deux premières périodes d'épandage .

Tableau n° 2 : variations des résistivités (ohm.m) enregistrées sur les deux premières périodes d'épandage

	Rampes Drain	Rampes Géotextile	Rampes Elastique
Période 1	2-4	2-4	4-8
Période 2	2-6	6-12	8-14

On observe qu'une réduction de 60 % des débits des rampes drains entre les deux périodes n'apporte qu'une faible variation de la résistivité . On assiste également à un phénomène d'accumulation d'eau au voisinage des rampes.

- Etude de la troisième période d'alimentation

La durée de cette période est environ trois mois . Pour pallier aux problèmes d'accumulation d'eau, les débits des rampes ont été réduits par rapport à la deuxième période en limitant les pressions d'alimentation (tableau n°1) .

Malgré la diminution des pressions d'alimentation, le rabattement des débits est de plus en plus important . Pour la même pression d'alimentation (0.3 bar), les débits des rampes géotextiles ont diminué de 30 l/h entre la permière et la troisième période .

Les figures 5 et 6 montrent l'évolution de l'épandage, à 30 cm de profondeur, entre la première et la deuxième période :

- figure 5 : carte de résistivité après 19 jours d'épandage;

- figure 6 : carte de résistivité après 180 jours d'epandage.

Ces cartes, qui représentent des différences de résistivités dues à l'épandage, confirment le phénomène d'engorgement qui s'amplifie malgré la réduction des doses appliquées .

L'extension spatio-temporelle de l'humidité, exprimée par les cartes établies lors des différentes périodes, a été quantifiée à l'aide des surfaces délimitées par la courbe iso-valeur 3 ohm.m (valeur moyenne relevée au niveau de la parcelle témoin). Le tableau n° 3 explicite cette extension dans le cas de la rampe élastique.

Tableau n° 3 : évolution des caractéristiques hydrauliques de la rampe élastique dans le temps

	Dose (l/j)	Surface (m2)	Lame d'eau (cm/j)	Différence de résistivités (ohm.m)
Période 1 (19 j)	355	14	2,53	2-15
Période 2 (47 j)	310	10	3,1	1-10
Période 2 (117 j)	310	27	1,15	3-18
Période 2 (158 j)	310	30	1,03	6-20
Période 3 (180 j)	225	30	0,75	10-24

L'examen du tableau n° 3 et des figures 5 et 6 montre que :

- la surface d'épandage a sensiblement doublée entre la première et la troisième période. Cette extension de la surface au cours du temps s'est accompagnée d'une homogénéisation progressive des valeurs de résistivité autour de la rampe,

- l'effet cumulé de l'extension de la surface humidifiée et de la diminution des doses apportées, provoque mathématiquement une baisse des lames d'eau. Cependant les différences de résistivité enregistrées reflètent une humidité du sol en constante progression. L'accumulation des matières en suspension autour des rampes serait, en partie, responsable de l'engorgement du sol.

III - 2.2. Performances épuratoires

Rendements moyens sur les paramètres physico-chimiques

Le tableau ci-après donne les rendements moyens, par rapport à l'eau d'alimentation, des trois variantes utilisées en épandage :

Tableau n° 4 : rendements moyens (%) des trois parcelles d'apandage durant les expérimentations

	Rampe Drain	Rampe Géotextile	Rampe Elastique
DCO (mg O_2/l)	86	87	90
DBO (mg O_2/l)	95	95	96
MES (mg /l)	87	89	82
N-NH_4 (mg N/l)	87	76	91
N-NTK (mg N/l)	87	76	91
NGL (mg N/l)	19	-5	49
P total	78	76	85

On observe un abattement important des MES et des paramètres globaux de la pollution (DBO et DCO), indépendant des fluctuations enregitrées sur l'eau à traiter.

Par ailleurs la nature calcaire du sol est à l'origine d'une diminution importante du phosphore dans les eaux infiltrées.

En ce qui concerne le devenir des nitrates, le tableau n° 4 montre que les trois parcelles ont des comportements différents liés, sans doute, à l'aération du sol dont une appréciation peut être donnée par l'analyse des gaz du sol effectuée sur chaque parcelle.

Le rabattement des germes témoins de contamination fécale (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) est de l'ordre de deux unités logarithmiques pour l'ensemble des parcelles d'épandage.

Evolution de l'azote et des proportions de gaz du sol dans les parcelles

Nous avons exposé sur les figures 7 et 8, respectivement, l'évolution dans le temps des formes de l'azote à 40 cm en dessous de la rampe élastique et les proportions des gaz au niveau de la même rampe.

Le rendement de l'azote global pour cette parcelle est de l'ordre de 50% (tableau n° 4). En fait, à l'exception des deux premiers mois de fonctionnement, les teneurs en nitrates à la sortie sont faibles (fig. 7). La troisième période se caractérise essentiellement par une montrée des teneurs en azote ammoniacal, et donc une nitrification incomplète de l'azote.

L'analyse des gaz du sol sur cette rampe (fig. 8) fait apparaître deux phases distinctes :

- jusqu'au 120ème jour l'aération du sol est favorable à la nitrification, le pourcentage d'oxygène varie peu et les teneurs en N_2 au niveau de la rampe sont équivalentes à celles du témoin,

- à partir du quatrième mois, les conditions anaérobies, avec apparition du méthane en quantité importante, favorisent le processus de dénitrification. Cette dénitrification, variable dans un premier temps, se stabilise durant la troisième période où les mesures de résistivité indiquent un engorgement du sol sans doute responsable d'une nitrification incomplète. L'exportation de l'azote gazeux s'élève à 5% en volume par rapport au témoin.

Dans le cas des rampes drain, le rendement moyen sur l'azote global est de 19%. Il est difficile de donner une part à la dénitrification dans ce bilan, bien que le processus semble avoir lieu durant le septième mois de fonctionnement (taux de N_2 = 84 %, taux d'O_2 = 12.8%).

On peut dire dans le cas de cette rampe qu'à l'exception du premier mois de fonctionnement, la nitrification de l'azote est totale. Ce résultat est conforté par les mesures de résistivité qui, à aucun moment n'ont montré dans cette zone une accumulation d'eau nuisible à la diffusion de l'oxygène.

En ce qui concerne les rampes géotextile, le fonctionnement épuratoire est caractérisé par l'alternance des fuites de NH_4+et NO_3-.

La mauvaise nitrification de l'azote ammoniacal s'observe en fin de chaque période expérimentale où le sol est engorgé. Le relargage des nitrates apparaît dès lors que la réduction des doses a permis une meilleure aération du milieu. Le phénomène d'accumulation-relargage est à l'origine d'un rendement négatif obtenu sur l'azote global.

5. CONCLUSION

L'étude de l'épandage d'un effluent dans un sol non rapporté a démontré les performances de chacun des éléments de la filière sélectionnés lors des essais préliminaires.

Le suivi de l'état hydrique du sol s'est effectué sans pertubation, par mesure de la résistivité du sol. Les cartes établies au fur et à mesure des expérimentations permettent de dégager deux points essentiels :

- le réseau sous pression assure une épartition de l'effluent conduisant à la couverture totale de la surface d'infiltration,

- le sol est un système épurateur efficace qui présente néanmoins des limites d'utilisation : en fonction des apports, le sol peut manifester, à long terme, des signes d'engorgement irréversibles même après diminution des doses d'alimentation.

Par ailleurs le fonctionnement hydraulique est en concordance avec les analyses physico-chimiques et les teneurs en gaz du sol, des rendements épuratoires élevés indiquent des conditions d'aération suffisantes, décelées par l'analyse de l'atmosphère du sol.

A l'instar des mesures de la résistivité géophysique du sol, l'analyse de gaz a montré l'engorgement progressif des zones d'épandage. L'installation des conditions anaérobies a eu pour conséquence une exportation de l'azote sous forme gazeuze. Cette solution peut être exploitée pour limiter la migration de nitrates.

En définitive, l'alternance de l'épandage sur deux parcelles constitue la solution la plus fiable pour assurer l'évacuation des effluents à traiter.

Ce sont les caractéristiques du sol, notamment la perméabilité, qui conditionnent les caractéristiques dimensionnelles du réseau, les doses à appliquer, le rythme d'alternance,...etc.

Ainsi pour une conductivité hydraulique de 25 à 40 mm/h, le réseau sous pression enterré à même le sol doit être constitué de rampes espacées de 1 m et munies de distributeurs tous les mètres. La zone d'influence ainsi déterminée, 0.75 m2 environ, reçoit compte-tenu de la réduction des débits par enfouissement, une lame d'eau journalière de l'ordre de 3 cm/j.

Les expériences n'ont pas abouti à la détermination du rythme d'alternance optimal. cependant aucune défaillance des épandages mis en œuvre ne s'est manifestée lors du premier mois, cette durée peut être retenue pour définir le rythme des phases alimentation et de repos.

L'étude confirme la possibilité de réaliser des épandages à l'aide d'une distribution souterraine sous pression. Le réseau joue un rôle essentiel et les choix technologiques opérés ici visent à mettre en œuvre une solution performante et durable.

Malgré la durée des expérimentations menées, seule l'application d'une telle distribution sur des épandages réels permettra de démontrer définitivement l'efficacité et l'intérêt de cette filière.

BIBLIOGRAPHIE

Catroux G., Germon J.C., Graffin P. (1974) - L'utilisation du sol comme système épurateur. Ann.agron. 25 (2-3) p. 179-193.

Cemagref (1980) - L'épandage des eaux usées domestiques - études préalables à l'aptitude des sols et règles de dimensionnement des installations. Etude N° 50,75 p.

Cemagref (1981) - Micro irrigation. Etude technologique de quelques distributeurs. Etude N° 32, (2ème édition). Cemagref, Groupement d'Aix en Provence.

Hesse A. (1978) - Manuel de prospection géophysique appliquée à le reconnaissance archéologique. centre de Recherche sur les Techniques Gréco-romaines. Université de Bourgogne - 217 p.

Hesse A. (1966) - Prospections géophysiques à faible profondeur, application à l'archéologie. DUNOD - pp.9-83.

Fazio A. (1987). - Les filtres à sable verticaux en assainissement autonome. Approche pratique du dimensionnement. Thèse Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 324 p.

Gougoussis C. (1979) - Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques. Thèse de 3ème cycle, Institut National Polytechnique de LORRAINE-NANCY, 350 p plus annexes.

Hart W. (1979) - Pressurized subsurface effluent dosing : Texas experience, Sixth National conference of the National Sanitation Fondation pp 245-257

Martin G. (1979) - Le problème de l'azote dans les eaux. Technique et Documentation 1979, 279 p.

Plews G.D., Dewalle F. (1984) - Performance evaluation of 369 larger on site systems. On Site Waste Water Treatment. Proc. of the fourth National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems. Decembre 10-11-1984 NEW ORLEANS. Amer. Soc. of Agri. Eng. 0785.

Thomas R?E, Schwartz W.A, Bendixen T.N. (1968) - Pore gas composition under sewage spreading. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. Vol 32 pp 419-423.

US department of health, education, and welfare (1959) - Manual of septic - tank practice.

Ward R.C., Morrison S.M. (1984) - Research needs relating to soil absorption of wastewater. Proceedings of the fourth National Symposium on individual and small community sewage Systems. New Orleans, December 10-11 Am. Soc. of Agri. Eng. 0785.

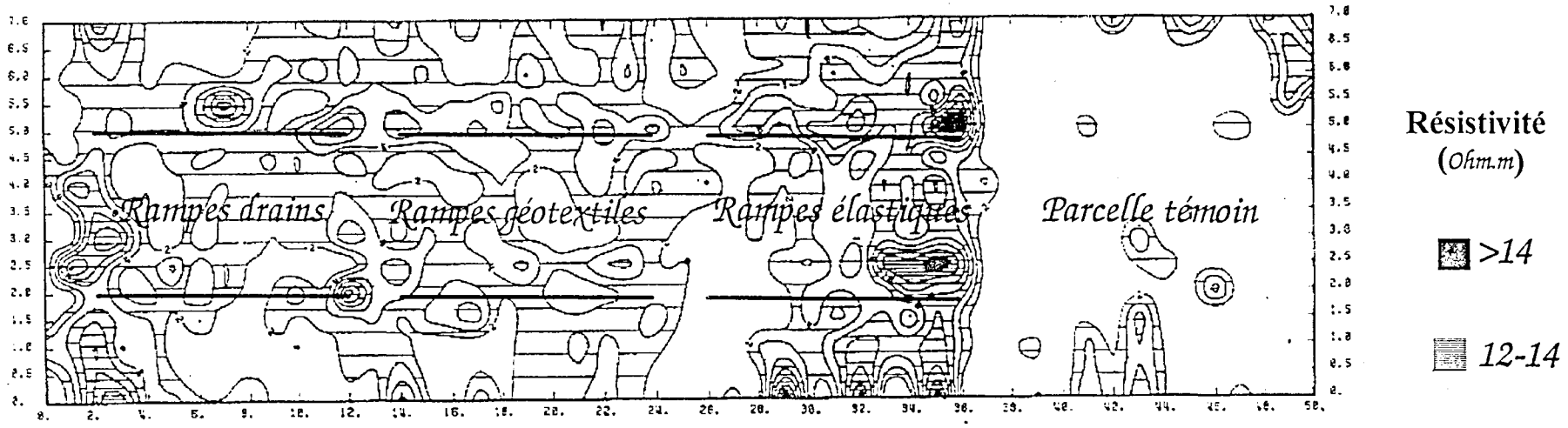


Fig.5 : Carte de résistivité après 19 jours d'épandage

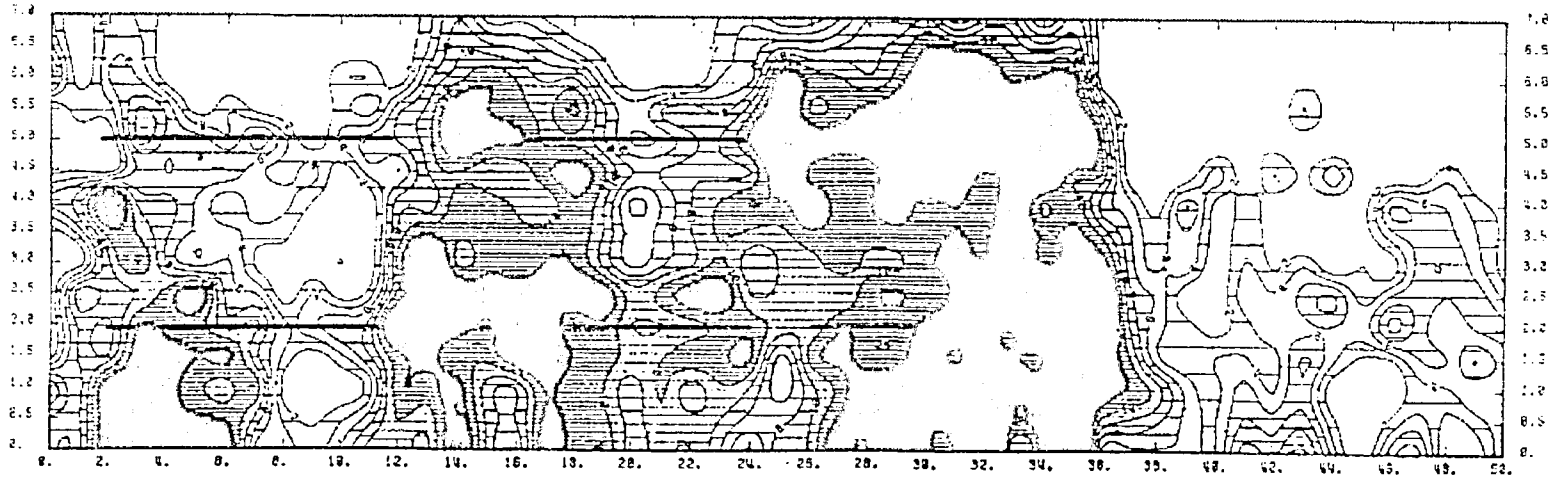


Fig.6 : Carte de résistivité après 180 jours d'épandage

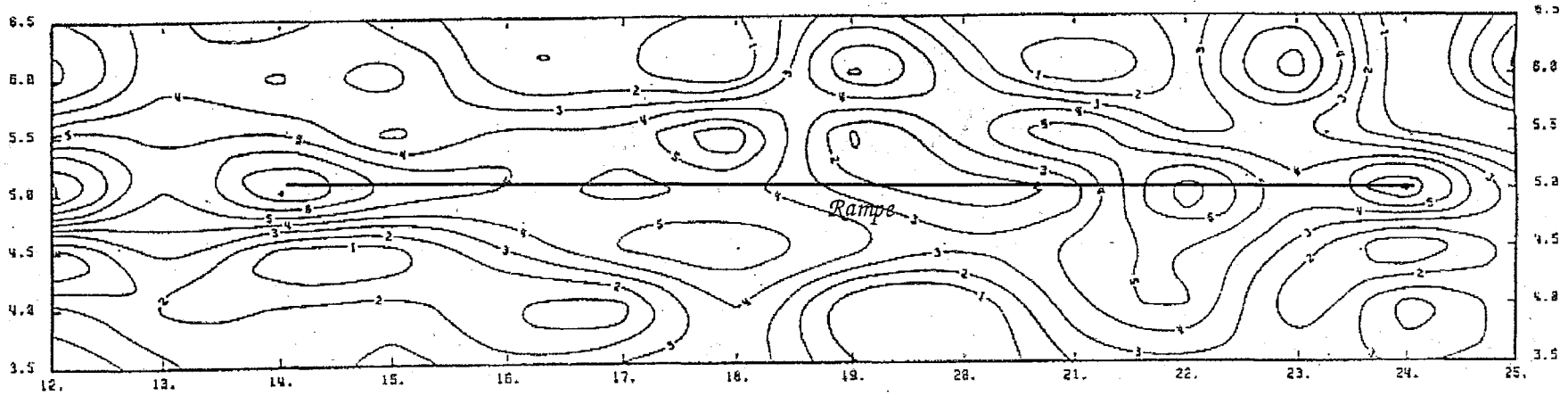


Fig. 4 : courbes isovaleurs (ohm.m) autour de la rampe géotextile

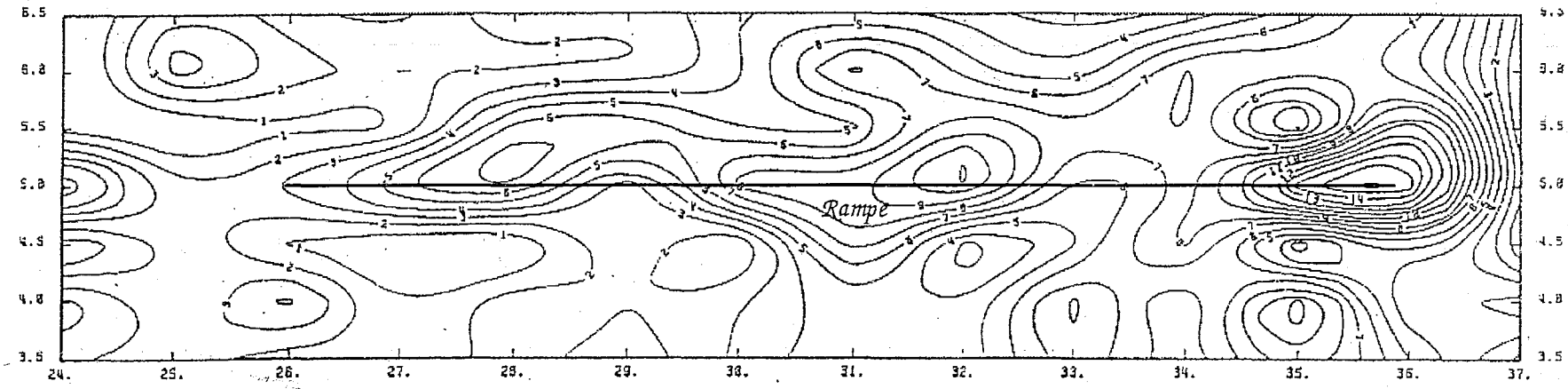


Fig. 3 : courbes isovaleurs (ohm.m) autour de la rampe élastique

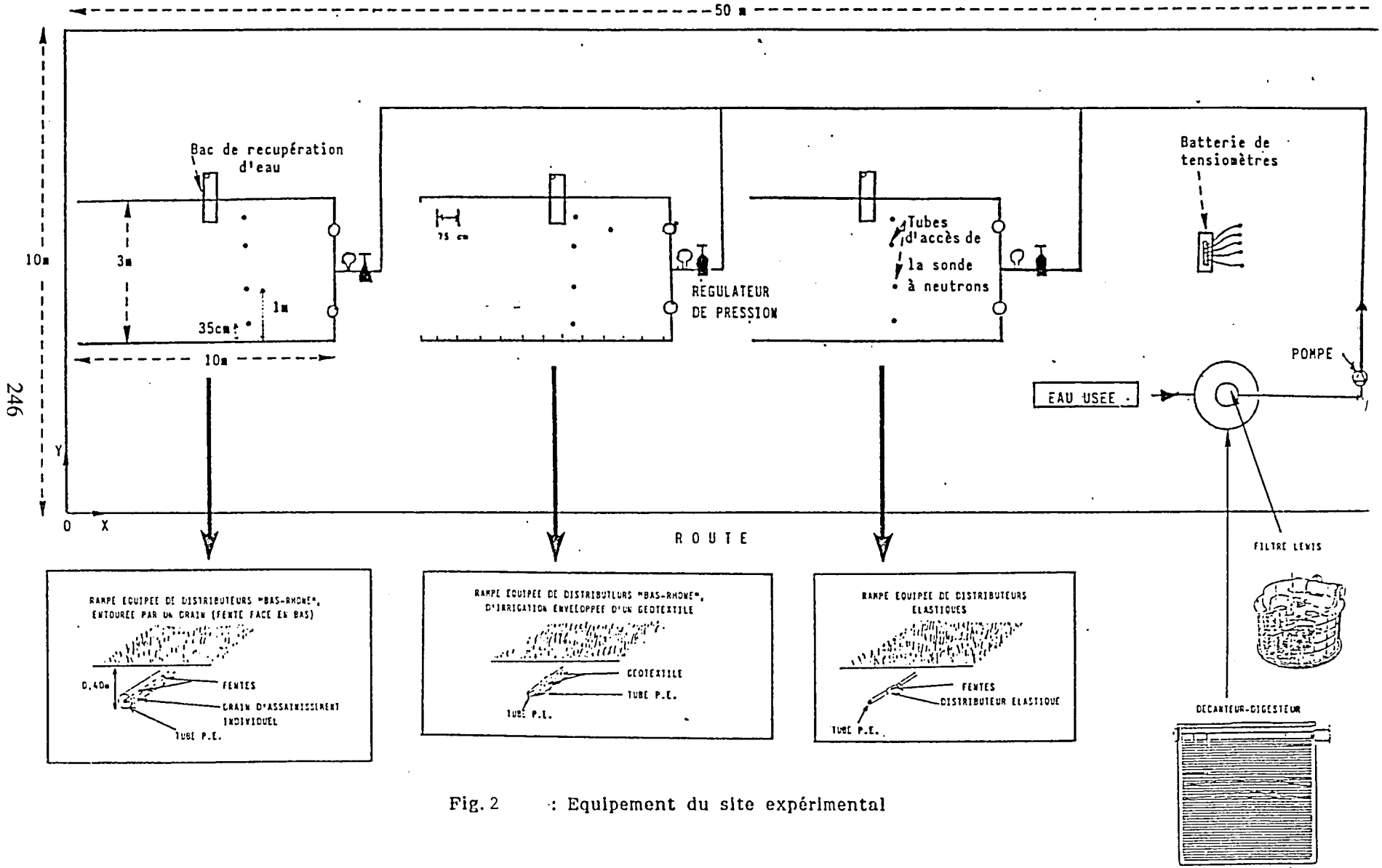


Fig. 2 : Equipement du site expérimental

RECOMMANDATIONS

Les spécialistes de l'utilisation des eaux salées et des eaux usées en agriculture, réunis lors des premières journées scientifiques du C.R.G.R le 27 et 28 septembre 1994 à Nabeul, recommandent.

En ce qui concerne l'utilisation des eaux salées :

- La mise en place de protocoles expérimentaux permettant de comparer différentes techniques d'irrigation avec des eaux salées (irrigation de surface, localisée et aspersion) et leur influence sur la salinité des sols et sur le comportement et le rendement des cultures.

- Promouvoir les techniques traditionnelles et nouvelles pour la réhabilitation et la récupération de sols affectés par la salinité pour l'utilisation agricole.

- L'adaptation d'une approche intégrée tenant compte de tous les facteurs de production et non seulement du paramètre salinité l'impact de façons culturales, la rotation des cultures, l'association de l'agriculture sèche et de l'agriculture irriguée, la possibilité de mélange et d'utilisation alternée d'eaux de forte et de moindre salinité en tant que moyens de lutte contre la salinisation des sols et d'optimisation de la production agricole.

- L'amélioration génétique de la tolérance des plantes au sel et l'exploitation de la diversité et la richesse biologique pour sélectionner les espèces mieux adaptées à la salinité et présentant un intérêt économique pour le pays.

En ce qui concerne l'utilisation des eaux usées :

La mobilisation des eaux usées traitées constitue une source d'eau supplémentaire pour l'agriculture et nécessite une meilleure sensibilisation pour son utilisation, cependant il est nécessaire :

- d'ajuster la politique et la stratégie de réutilisation des eaux usées traitées compte tenu de l'expérience tunisienne de leur emploi et de revoir la réglementation en vigueur.

- d'encourager les opérations de stockage de surface et souterrain des eaux usées traitées lorsque le milieu s'y prête et d'étudier l'impact de la recharge sur la qualité des eaux de nappe.

- de promouvoir les recherches sur les techniques d'irrigation et les systèmes de culture qui offrent le plus de profit et les moindres risques à l'agriculteur, au consommateur et à l'environnement.

- de rechercher à optimiser la fertilisation dans les périmètres irrigués avec les eaux usées traitées.

- d'inciter à l'emploi des eaux usées traitées, prallèlement à l'agriculture, à d'autres fins municipales et industrielles.

Les participants à ces journées recommandent aussi bien pour l'utilisation des eaux salées que des eaux usées traitées :

- face aux risques que pose l'utilisation de ces eaux, de renforcer le réseau des stations expérimentales et d'y redynamiser les recherches dans ces domaines,

- de développer une méthodologie d'évaluation et de suivi des périmètres irrigués avec les eaux salées et les eaux usées.

- de tenir compte des facteurs socio-économiques et culturels dans la création des périmètres irrigués et dans les opérations de modernisation de la gestion et d'introduction de nouvelles techniques et de définir une tarification adéquate.

- de constituer une banque de données relative à la gestion de l'eau et des sols et à l'utilisation des eaux salées et des eaux usées en agriculture et de diffuser périodiquement les nouveaux acquis.

- d'optimiser l'utilisation de ces ressources par des équipes multidisciplinaires et par une complémentarité entre l'approche fondamentale et appliquée.

- d'organiser des ateliers de travail sur l'évolution de la recherche dans ce secteur et le suivi des recommandations précitées.

COMITE SCIENTIFIQUE

A. CHERIF
A. AYADI
A. GHALI
A. HAMDANE
B. HENCHI
M. ENNABLI
M.N. REJEB
A. BAHRI
Z. CHAABOUNI
Z. ALOUINI
E. BOUAZIZ
M. TRAD
S. REJEB

COMITE D'ORGANISATION

R. MOUGOU
S. REJEB
Z. ALOUINI
E. BOUAZIZ
Z. CHAABOUNI
A. MLAOUHI
M. FITOURI
T. LOUATI.

LISTE DES PARTICIPANTS

C.R.D.A.

*** NABEUL :**
- M. LE COMMISSAIRE
- M. REKAYA M.; TRAD A; MAOUIA B.; TLILI M.; BEN JEMAA H.;
- M. SOUILEM.; HICHRI A.; HAJJI H.; BENNCIB M.; HADDAD S.; CHERIF M.; BOULABIAR R.; NAJAR.; JEBNOUN H.; AJENGUI F.; SAOUD A.

*** GABES :**
- M. LE COMMISSAIRE
- M. SAIED A.

*** BEN AROUS :**
- M. LE COMMISSAIRE : M. AOUNALLAH

*** SOUSSE :**
- M. HARZALLAH M.; ARFA S.; GAALOULA.; EL GHATTASSI A.

*** MAHDIA :**
- M. LE COMMISSAIRE : M. GARGOURI; BARAKET Y.
- M. ACHAK A.; M. AYOUB.; M. MAALEG F.; BENNOUR K.

*** MONASTIR :**
- M. LE COMMISSAIRE : M. MABROUK H.; BRAHAM O.
- M. AHMED HASSINE

*** SIDI BOUZID :**
- HAJJEM A.; ABID A.

*** ZAGHOUAN :**
- JABALLI T.

*** SFAX :**
- M. CHAARI A.; LAMOURI Z.

*** ARIANA :**
- M. AYED A.; BEN AYED M.; BOUSSAA H.; BETTAIEB M.A.;
- FATNASSI A.; MELLAKH.; SAIDI A.

*** LE KEF :**
- M. METTICHI H.

*** MEDENINE :**
- HAJEJ B.; JENNI A.

E.S.I.E.R

- M. LE DIRECTEUR : M. SOUISSI.

E.S. D'AGRICULTURE DE MOGRANE :

- MEHOUACHI T.

E.S.A. MATEUR :

- M. CHERIF K.; HAMMAMI M.

I.R.A MEDENINE :

- M. NAGGAZ K.; ZERRI M.A.

I.N.R.S.T. :

- M. ABDELLI C.; LACHAAL M.; SOLTANI A.; HAJJI M.; GHARSALLI M.; GHRABI A.; JEDIDI N.; SMAOUI A.; MARZOUK.; NAJME F.

INSTITUT DE L'OLIVIER SFAX :

- M. LE DIRECTEUR : JARDAK T.; TRIGUI A.
- M. BOUJNAH D.; BRAHAM M.; CHAKROUN A.; M'SALEM M.

I.N.R.F. :

- M. KSONTINI M.

I.N.R.A.T :

- M. BEN SALEM; M. KAABIA; NASR ZOUHEIR

I.R.E.S.A. :

- M. LE PRESIDENT : M. CHERIF A.
- M. HEDRI M.; MOUGOU A.;

I.R.S.I.T :

- M. CHAMMAM

F.S. TUNIS

- MEZHOUDI S.; GOUIA H.
- BOUNAQBA S.; ZID E.; OUARITI O.; BIZID E.; EL ALAMI A.; AYADI A.; JEMAL F.

F.S. SFAX :

- BOUKHRIS M.; MEZGANI I. CHAIB M.

S.E.R.S.T. :

- HANCHI B.

DIRECTION DES SOLS :
- MONSIEUR LE DIRECTEUR : MTIMET A.
- HACHICHA; DEROUICHE C.

D.G.P.A :
- BOUHDIDA M.

M.E.A.T :
- HMAIED KOUKI; JENDOUBI M.S.

O.N.A.S :
- TOUHAMI K.; KOUNDI A.; ELLOUMI Y.; KALAI H.;
- FANTAR, MAHJOUBI H.; DARDOURI W.; CHARFI A.; KOUKI M.; AKICHI A.

O.N. DE LA VIGNE :
- BOUKSILAF F.; RIASSI R.

STE LE COTON TUNISIEN :
- DALLAGI M.; WASLY A, JALLOUL A.; KHALIFA J.

U.T.A.P. :
- JEMHASI H.; BEN HAMIDA F.; BACCAR C.

G.I.L. :
- YEDDES A.

F.A.O. :
- LAAMOURI.

O.R.S.T.O.M. :
- M. JOB.

AMBASSADE DE FRANCE :
- M. SAUVAL.

C.R.G.R. :
REJEB M.N.; REJEB S; BAHRI A; SOUKI K; TRAD M; BEN JEMIA, MOUGOU; CHAABOUNI Z.; BOUAZIZI E.; GAALOUL; BEN MBAREK K.; ALOUINI Z.; ZAIRI A.; BEN OTHMAN M.; CHENINI F.; CHAIBI MED THAMEUR, LOUATI; FITOURI M.; KHAMASSY Y.; LADHARI.; EL ACHOURI M.; EL AYEB N.