

# FERTIGATION DE LA TOMATE HORS SOL DANS LA ZONE DE DOUIET AU MAROC.

A. Aït Houssa<sup>1</sup>, El. Nouga<sup>2</sup>, H. Oualili<sup>2</sup>, Y. Chtaïbet<sup>2</sup> & A. Chaddad<sup>2</sup>

## Résumé.

Au terme de dix huit ans d'expérience, à quelques améliorations spécifiques près, la méthode Coïc-Lesaint faisant intervenir 4 solutions différentes en fonction des stades de la culture, s'est montrée tout à fait adaptée à la fertigation de la tomate en hors sol dans le contexte de Douiet au Maroc.

Pour un rendement de l'ordre de 220-250 t/ha, la consommation en fertilisants (drainage inclus) est de 800-1000 U/ha de N, 350- 400 U/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1700-2000 U/ha de K<sub>2</sub>O, 280-350 U/ha de CaO, 120-160 U/ha de MgO, en plus des oligo-éléments.

Le prix de revient de la solution se situe entre 51.700 et 65.800 Dh/ha (5170 et 6580 \$/ha) selon les campagnes, et représente 8 à 10 % du coût de production total de la tomate.

Cette étude a été également une occasion pour discuter de l'impact de ce mode de fertigation avec solution perdue, sur l'environnement et sur la durabilité du système de production.

**Mots clés additionnels :** fertigation, tomate, hors sol.

## 1. INTRODUCTION

La culture en hors sol, est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture, pour valoriser les terrains à problèmes, où d'importantes productivités sont impossibles autrement qu'avec un substrat de culture artificiel.

C'est l'unique solution lorsque le sol naturel souffre de contraintes incorrigibles (terrain rocailleux, hydromorphes, salés,...), alors que tous les autres facteurs (climat, disponibilité et qualité de l'eau, proximité et prix du marché,...) sont favorables.

C'est aussi la solution efficace pour d'anciens périmètres de monoculture surexploités dont les installations sont encore en bon état, pour continuer à produire, tandis que le sol est dans un état de fatigue (nématodes, fusariose vasculaire,...), où la restauration de sa productivité n'est plus possible, grâce aux interventions agronomiques courantes telle la désinfection [Couteaudier et al, 1985 ; Aït Houssa, 1998].

Dans de nombreux cas, la reconversion plein sol/hors sol peut également s'avérer intéressante, si par rapport à la culture en plein sol, les éléments disponibles montrent que des gains substantiels de productivité et surtout de rentabilité en sont attendus.

D'une manière générale, pour tirer un meilleur parti de cette technologie, les principaux facteurs forces mis en jeu sont le substrat, le potentiel variétal, la conduite sous abri (chauffé ou non) et la fertigation.

Le but de cet article est de faire le point sur la fertigation au Domaine Agricole de Douiet, après 18 ans d'expérience sur le sujet.

## 2. CONTEXTE GENERAL DE PRODUCTION

Le projet de tomate hors sol, objet de la présente communication, a été réalisé en 1987/88 dans la zone de Douiet, sise à environ 10 km à l'Ouest de la ville de Fès, sur la route de Sidi Kacem. Il compte une superficie d'environ 20 ha de tomate indéterminée (Prisca au départ, Daniela par la suite; d = 18.500 plants/ha ; cycle total de 9 mois ; 22 à

24 bouquets/cycle) cultivée en conteneurs, sur pouzzolane locale extraite des carrières de Timahdite. Les premiers semis ont généralement lieu fin juillet/début août en vue d'une production pour l'exportation à partir de fin automne.

Le Climat de la zone est de type continental, caractérisé par un hiver froid et pluvieux (Tmin < 0°C ; P > 500 mm/an) et un été sec et très chaud (P ≈ 0 mm ; Tmax. > 40 °C).

Du fait du froid hivernal, la tomate de primeur dans cette zone est produite sous abris plastiques (en partie de type Delta-9 et en partie multichapelles) chauffés en utilisant l'eau du forage géothermique de Aïn Allah (débit q = 320 l/s ; T° = 45 °C ; pression P = 28 bars). Compte tenu des minima à respecter en hiver pour éviter les dégâts sur la tomate [Cornillon, 1985; Gorini, 1997], l'étude géothermique a été réalisée avec comme objectif, lors des calculs du nombre de boucles de chauffage/unité de serre, d'avoir un ΔT de + 10°C, c'est à dire + 6°C à l'intérieur de la serre, lorsque le thermomètre enregistre - 4°C à l'extérieur.

1. Département d'Agronomie, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès- Maroc.

2. Département d'Horticulture, Domaine Agricole de Douiet, Fès-Maroc

### 3. CONDUITE DE LA FERTIGATION

#### 3.1. Equilibres de base

Faute d'expérience au départ, la fertigation de la tomate a été conduite en reproduisant la méthode Coïc-Lesaint exactement comme elle a été décrite dans la littérature dans le contexte européen pour les plantes neutrophiles [Coïc et Lesaint, 1973 ; Jeannequin, 1985; Verdure, 1985 ; Ctifl, 1986]. Ce n'est qu'après un recul de 4 ou 5 ans, qu'il a été possible de commencer à lui apporter des modifications sensibles, afin de l'adapter aux conditions spécifiques de Douiet.

A moins que de nouveaux éléments interviennent dans l'avenir, pour encore faire évoluer les références constituées, les équilibres de travail qui se sont avérés les meilleurs dans cette zone, après 18 ans d'exercice, sont ceux rapportés dans le tableau 1.

Hormis les 3 semaines du semis/plantation (où le plant vit sur les réserves de la tourbe), la concentration azotée finale retenue à Douiet, pour une tomate destinée à l'export, est de 12.15 meq/L de l'élevage à la floraison du 2ème bouquet (E1-f2), 13.43 meq/L de la floraison du 2ème bouquet à la floraison du 6ème bouquet (F2-F6), 12.51 meq/L de la floraison du 6ème bouquet à la récolte du 2ème bouquet et enfin 12.98 meq/L de ce dernier stade à la récolte du dernier bouquet.

La part de l'ammonium dans le but de stabiliser le pH tourne autour de 9 à 11% selon les stades.

L'équilibre K/(Ca+Mg) est également fonction du stade végétatif. Plus faible au départ, il est ensuite revu à la hausse à chaque stade de référence pour atteindre une valeur de 0.86 à la récolte du deuxième bouquet où il sera ensuite maintenu constant jusqu'à la fin du cycle.

A Douiet, quoi qu'aucune carence en phosphore n'ait jamais été notée sur la culture, la concentration en P adoptée est sensiblement plus confortable que la teneur recommandée par la version d'origine Coïc-Lesaint, soit 1.1 meq

	Azote (meq/L)	NH <sub>4</sub> /N (%)	K/(Ca+Mg)	K/N	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq)
E1 -F2	12.15	9	0.42	0.41	1.38	4.41
F2-F6	13.43	10	0.59	0.48	1.58	4.06
F6-R2	12.51	11	0.70	0.56	1.62	4.10
R2-Fin.	12.98	10	0.86	0.62	1.90	3.85

**Tableau 1:** Solutions type Coïc-Lesaint adaptées à la tomate indéterminée dans le contexte de Douiet (Maroc).

	Solution fille (meq/L)								
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Eau	0.02	2.99	2.44	---	---	--	--	--	0.33
HNO <sub>3</sub>					1.05	1.05			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					2.17				2.17
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>					0.69		0.69		
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				0.89			0.89		
Nit. de Ca		4.02				4.02			
KNO <sub>3</sub>	6.5					6.5			
MgSO <sub>4</sub>			1.56						1.56
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>				0.49		0.49			
Σ ions	6.52	7.0	4.0	1.38	3.91	12.06	1.58		4.06

**Tableau 2:** Exemple de tableau de détermination des solutions nutritives type Coïc-Lesaint (phase F2-F6).

de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ou 2.2 meq de HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> [Verdure, 1985 ; Ctifl, 1986 ]. Enfin pour les sulfates, les concentrations adoptées sont plutôt voisines de celles proposées par la variante rapportée par Jeannequin [1985], qui tolère jusqu'à 6 meq/L contre 1.5 meq/L pour Verdure.

En ce qui concerne les oligo-éléments, les concentrations adoptées ont été également portées au double des doses conventionnelles, ce qui donne 1.2 mg/L pour Fe, 1mg/L pour Mn et pour Zn, 0.50 mg/L pour B, 0.12 pour Cu et 0.05 pour Mo.

#### 3.2. Méthode de calcul des solutions

Comme dans tout système de ce genre, la solution nutritive est calculée en tenant compte de l'eau d'arrosage utilisée (Tab.2). Avec une conductivité électrique de 0.65 mmhos/cm, dans le contexte marocain, l'eau de Douiet est

d'une très bonne qualité chimique.

On sait qu'une solution nutritive peut être obtenue par le jeu de différentes combinaisons d'acides et d'engrais. Dans le cas particulier exposé ci-dessus, pour ramener le pH de 7.4 à 5.8 (valeur de référence pour la tomate), en neutralisant les bicarbonates (soit 4.70 meq/L), il faut un mélange de 2.17 meq/L d'acide sulfurique (d=1.83), 1.05 meq d'acide nitrique (d=1.41), et 0.69 meq d'acide phosphorique (d = 1.70).

La colonne n°7 du tableau donne la quantité de nitrate de calcium Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, de nitrate de potasse KNO<sub>3</sub> et d'ammonitrate, nécessaire pour apporter les 12.04 meq/L de nitrates, compte tenu de l'équilibre NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> et K/(Ca+Mg).

L'ammonium étant apporté en partie par le phosphate mono ammonique

MAP (qui apporte en même temps le complément de P) et en partie par l'ammonitrate  $NH_4NO_3$ , et le complément de magnésium en utilisant du sulfate de magnésium  $MgSO_4$ .

### 3.3. Acides et engrais utilisés

Au Maroc, il y a tout ce qu'il faut sur le marché comme acides et engrais pour préparer n'importe quel type de solution (acide nitrique, acide phosphorique, acide sulfurique, MAP, DAP, ammonitrate, sulfate d'ammoniaque, sulfate de magnésie, nitrate de magnésie, sulfate de zinc, sulfate de manganèse, sulfate de cuivre, fer sous forme EDTA, DTPA, H-EDTA, EDDHA,...). Par conséquent en 18 ans d'exercice de fertigation, Douiet a eu tout son temps pour tester toutes sortes de produits et de préparations (solution à base d'un seul acide et de mélange de plusieurs engrais, mélange d'acides + mélange d'engrais, engrais d'importation solides prêts pour l'emploi,...).

Avec l'apparition sur le marché, du sulfate de potasse dit Qualité A (propre et très soluble), durant les années 1993 à 1995 en particulier, l'effort a porté surtout sur la réduction du taux de  $KNO_3$  au profit du sulfate, en montant parfois jusqu'à 6 meq/L de  $SO_4^{--}$  total dans la solution [Ouknider et Ait Houssa, 1994]. Il faudrait aussi citer l'importation directe en 1992, d'engrais pulvérulent prêt pour l'emploi sur tomate. Mais le résultat a été plutôt décevant, malgré le strict respect des prescriptions préconisées par le fabricant. D'une part, la solution donnait du feuillage de couleur pâle témoignant d'une insuffisance azotée, d'autre part, pour obtenir une EC correcte au départ, il a fallu multiplier la concentration par un facteur de 3 et par conséquent le prix de revient de la solution. Si bien qu'on a été obligé d'en interrompre le programme et de revenir aux produits simples, avant même d'avoir consommé le premier lot importé.

Finalement, le seul cocktail offrant le double avantage à la fois du prix et de la facilité d'emploi, est celui préparé à partir de mélanges d'acides à dominante acide sulfurique (tab.2) et

de mélanges d'engrais divers à dominante nitrate de calcium et nitrate de potasse. L'ammonitrate, le MAP, le sulfate de magnésie,... ne sont en général utilisés que comme appoints dans un souci de respect de l'équilibre choisi.

D'une manière générale, les oligo-éléments sont apportés sous forme de sulfates pour le manganèse, le zinc, le cuivre, de Fe-DTPA ou H-EDTA pour le fer (EDDHA durant les premières années), de pentaborate de soude pour le bore et de molybdate pour le molybdène.

### 3.4. Préparation des solutions-mères

C'est le niveau de concentration adopté (lui-même fonction du taux d'injection) et l'autonomie recherchée, qui fixent la quantité de solution-mère à préparer et par conséquent, le volume des cuves de mélange correspondant.

A Douiet, le taux d'injection pour la tomate est maintenu constant et égal à 5 ‰ durant tout le cycle de la culture (3 ‰ pour le pêcher, melon et autres légumes). L'ajustement des besoins en fonction des stades est obtenu en augmentant la fréquence d'injection des solutions et non par une modification de la concentration de celles-ci dans l'eau d'arrosage.

Le renouvellement de la solution a en général lieu tous les 10/12 jours, selon le nombre d'ha dominés par chaque

station. L'expérience a montré qu'un plus long séjour se traduit par une perte de solubilité des produits (dépôt de fond de cuve) en fin d'utilisation, en particulier par temps froid.

Les stations de fertigation sont constituées de batteries de bacs noirs en PVC de 2 x 5000L, dont l'un est affecté à la solution A et l'autre à la solution B, en plus d'une cuve d'acide pour la rectification continue du pH. L'injection est assurée par des pompes doseuses de type électrique double corps au début, hydraulique mono-corps par la suite.

Le tableau 3 ci-dessous, donne les quantités d'acides et d'engrais nécessaires pour préparer une tonne de solution-mère pour la phase de culture F2-F6, en tenant compte du poids de l'équivalent de chaque produit et du taux d'injection.

Les précautions d'usage, pour obtenir une solution efficace et garantir en même temps la sécurité aussi bien des personnes que des installations, sont les mêmes que celles utilisées en hors sol partout ailleurs [Verdure, 1985; Citfl, 1986]:

- Calcul juste des concentrations à partir des produits choisis ;
- Respect impératif du coefficient de conversion de la solution fille en solution mère (ici  $K = 200$  fois) ;
- Utilisation de deux bacs séparés afin d'éviter les précipités et les pertes de

Produit	Poids de l'eq (gr)	(kg/1000L)	Bac A (5000L)	Bac B (5000L)
Acide nitrique d = 1,41	91.10	19.12	95.64	0.480
Acide sulfurique d = 1,83	25.62	11.12	55.60	--
Acide phosphorique d =1,70	115.6	15.95	79.76	--
MAP	115	20.5	102.5	--
Nitrate de calcium 15.5 %	98	78.8	--	394.0
Nitrate de potasse	101	131.30	328.25	328.25
Sulfate de magnésie 16 %	123	38.40	192.0	--
Ammonitrate 33.5	80	7.85	39.20	--
Oligo-éléments		besoins	Mn, Zn, ...	Fe chélaté

**Tableau 3 :** Besoins en acides et en engrais pour préparer la solution-mère (stades F2-F6).

solubilité par contact en milieu concentré, entre le calcium d'une part, les sulfates et les phosphates d'autre part ;

- Répartition du  $KNO_3$  moitié/moitié entre les deux bacs A et B ;
- Affectation du fer chélaté à la cuve B pour éviter sa précipitation ;
- Toujours verser l'eau la première puis l'acide ensuite, conformément au dicton de la chimie élémentaire (A dans E mais jamais E dans A) ;
- S'assurer du réglage des injecteurs et en vérifier régulièrement le fonctionnement.

### 3.5. Modalités d'injection

Sur le plan nutritionnel, une tomate hors sol est totalement dépendante de l'apport de la solution nutritive pour assurer sa croissance. Le délai de réponse de la culture est d'ailleurs très court et ne dépasse pas quelques jours en cas de solution pauvre ou déséquilibrée, en particulier sur substrat peu tamponné [Aït Houssa, 1998]

C'est le besoin en eau de la journée (lui-même fonction du stade végétatif et de l'ETP de la saison), qui détermine le volume et le nombre d'apports de solutions à réaliser.

Comme dans une culture conventionnelle, en hors sol, les périodes de plus faible consommation de solutions nutritives (300 à 500 CC/plant/j), correspondent tout naturellement au début du cycle (septembre à novembre) où le plant est encore jeune, et aux périodes froides et de forte hygrométrie, alors que les moments de forte consommation (1 à 1.5L/plant/j) correspondent aux périodes de pleine croissance par temps chaud, qui s'étalent de mars à juin .

L'injection est étalée sur toute la journée et s'arrête généralement la nuit. Le déclenchement du premier apport a lieu en début de matinée. Il est ensuite suivi d'un second en fin de matinée, d'un 3ème, 4ème, 5ème, 6ème, voire 7ème l'après midi. Par contre, les périodes d'injection à éviter sont surtout le milieu de la journée par

temps chaud où les stomates sont fermés, ce qui réduit la consommation en fertilisants et favorise les pertes inutiles de minéraux dans le drainage.

L'injection ne commence qu'une fois la pression stabilisée à un bar en tête du goutteur (obtenue après 2 à 3 min). Elle dure 7 minutes et peut être prolongée parfois en été avec de l'eau acidulée pour prévenir les risques de bouchage chimique [Bucks et Nakayama, 1980 ; Chossat, 1995].

Puisqu'on est en présence d'un système de fertigation avec solution perdue, c'est le contrôle du drainage dans les lysimètres, aménagés dans les serres à raison de 2 micro-puits par ha, qui guide l'injection.

### 3.6. Contrôles des solutions et du drainage

A Douiet, le vibreur, la loupe, le pH mètre et le conductimètre portables font partie de la trousse obligatoire du technicien affecté à l'hors sol. Le contrôle du pH et de l'EC est de type préventif, effectué selon le besoin, à la sortie des bacs, sous le goutteur et sur le drainage, même en l'absence de tout problème.

Dans la pratique, il est difficile de parler de pH ou de EC zéro variation avec le temps, par rapport aux valeurs prévues. Même en cas d'eau à composition en bicarbonates invariable dans le temps, d'injecteur bien réglé, de calcul parfait de quantité d'acide, on sait que le pH est sujet à des évolutions, ne serait-ce qu'à cause des échanges entre le système racinaire et la solution. L'acidification se produit en général à basse température quand la croissance est réduite, tandis que l'alcalinisation apparaît quand la croissance est vigoureuse, notamment en raison de l'enrichissement du milieu par des  $OH^-$  produits par une forte réduction du nitrate. D'autre part, des variations

sensibles de pH peuvent également avoir en partie comme origine, des variations d'équilibres cations/anions [Cornillon, 1985].

Sauf erreur flagrante sur la quantité d'acide injecté (rare dans la pratique), à Douiet la tendance est le plus souvent à l'augmentation du pH, vraisemblablement surtout en raison de la présence du  $CaCO_3$  dans le substrat (tab.4).

D'une manière générale, le pH à la sortie du goutteur est considéré bon pour toute mesure qui se situe dans l'intervalle 5.8-6.2. L'intervention en vue d'une correction n'a lieu qu'au-delà de cette dernière valeur.

Du fait, encore une fois, qu'en est ici en présence d'un système avec solution perdue, pour éviter les effets pervers des à-coup de salinité, le type de gestion de la solution est celui du 'filet de drainage permanent' où il n'y a pas besoin d'attendre des valeurs d'EC exagérées dans le substrat, pour intervenir.

D'une manière générale, la gamme d'EC de travail adoptée pour la tomate se situe entre 1.8 et 2.6 mmhos/cm. Des EC exceptionnelles plus fortes (> 3mmhos/cm), n'interviennent que lorsqu'on cherche à freiner un plant qui file trop par temps chaud ou à améliorer la fermeté des fruits afin qu'ils résistent mieux durant le transport. De même que la tomate n'est arrosée avec de l'eau acidulée seule que dans le cas particulier où les mesures dans le drainage, montrent une montée anormale de l'EC du substrat.

## 4. CONSOMMATIONS TOTALES ET PRIX DE REVIENT DES SOLUTIONS

Pour un rendement de l'ordre de 220-250 t/ha, la consommation en fertilisants et en acides, y compris les

pH	Granulométrie mm	Calcaire ‰	Ca.éch. meq/kg	CEC meq/kg	Capacité de rétention %	MO ‰	EC mmhos/cm
8.3	mars-14	9	304	420	10.4	9	0.10

**Tableau 4 :** Caractéristiques physico-chimiques de la pouzzolane de Timahdit.

pertes par drainage, est de 800–1000 U/ha de N, 350- 400 U/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1700-2000 U/ha de K<sub>2</sub>O, 280-350 U/ha de CaO, 120-160 U/ha de MgO, en plus des oligo-éléments.

De tels chiffres correspondent à env. 4 U/t pour l'azote, 1.5 U pour le phosphore, 8U pour la potasse, 1.5 pour le CaO et 0.6 pour le MgO.

En équivalent produits, ces chiffres correspondent à env. 2T/ha d'acides (soit 23 %) et 7T/ha d'engrais (soit 77 % dont 59-62 % de nitrate de potasse, 22-24 % de nitrate de calcium, 9-10 % de phosphate mono-ammonique, 6-8 % d'oligo-éléments et de sulfates).

C'est le prix des produits sur le marché local qui détermine le coût de la solution, lui-même fonction du marché mondial. Au cours du dollar à la date de la rédaction de cet article, sur le marché marocain, l'acide phosphorique (d = 1.70) coûte 1112 \$/t, l'acide sulfurique (d =1.83) 226 \$/t, l'acide nitrique (d = 1.41) 425 \$/t. En ce qui concerne les principaux engrais solides utilisés, le nitrate de potasse coûte 462 \$/t, le nitrate de calcium 364 \$/t, le MAP 242 \$/t, l'ammonitrate HD 148 \$/t, le sulfate de potasse 367 \$/t et le sulfate de magnésie 360 \$/t.

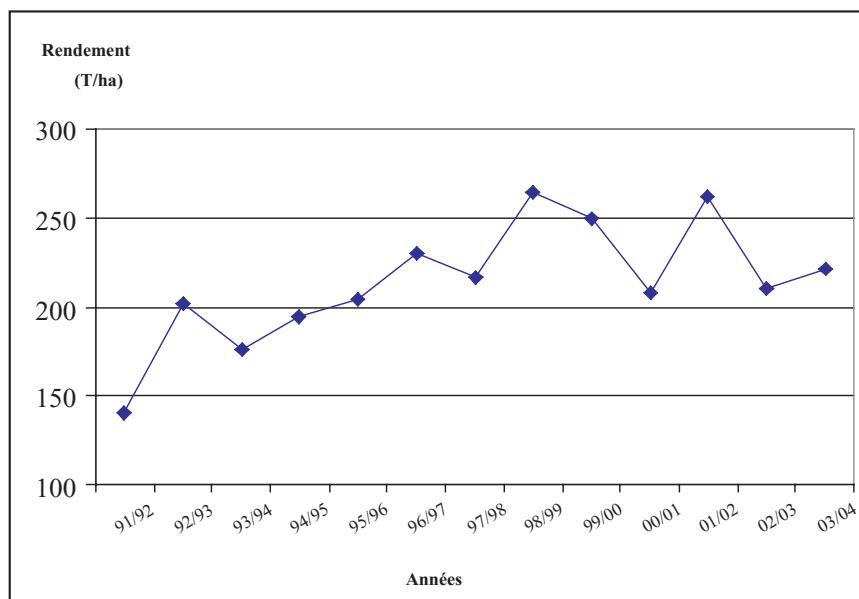
Dans le contexte de production et de consommation de Douiet, le prix de revient de la solution varie de 51.700 à 65.800 Dh (5170 à 6580 \$/ha) selon les années, soit 8 à 10 % du prix de revient de la tomate.

## 5. PRODUCTIVITE OBTENUE

Sur ce plan, la courbe des rendements (Fig.1) montre deux périodes caractéristiques :

- la période 1, qui s'étale de la mise en place du projet en 88 jusqu'à 1998, avec un rendement en progression continue ( $R^2= 0.78$ ), grâce à l'introduction de nouvelles techniques;
- la période 2 après 1998, avec une variation en dents de scie et tendance nette ( $R^2= 0.13$ ) à l'absence de progrès supplémentaire sur la productivité.

L'interprétation des résultats sous le seul angle de la fertigation est loin



**FIG. 1 :** Rendement de la tomate ronde sur pouzzolane à Douiet en fonction des années.

d'être suffisante, même si entre temps, il y a eu de réels progrès sur cette technique. Voici la liste des principales innovations ayant contribué à l'augmentation du rendement depuis la création du projet, sans qu'il soit bien entendu possible, de faire la part de chacune dans le progrès global constaté:

- Introduction de l'hybride Daniela à potentiel plus important pour remplacer Prisca ;
- Introduction du bourdon pour améliorer la nouaison ;
- Amélioration de l'efficacité du système d'irrigation en remplaçant le capillaire par le goutteur (meilleur coefficient d'uniformité) et en réduisant la longueur de la rampe porte/goutteurs afin d'éviter l'hydromorphie en fin de gouttière dans certains secteurs;
- Introduction des serres multi-chapelles ;
- Amélioration de la fertigation;
- Amélioration de la conduite technique.

Ce ne sont là que les techniques intégrées définitivement au processus de production. La liste exhaustive est en fait plus longue et comprend

d'autres innovations pour la plupart abandonnées au stade expérimental (production sur laine de roche, sur tourbe blonde, ...), ou retirées peu de temps après, en raison de leur coût exorbitant (chauffage d'appoint à air pulsé, production sur perlite, greffage de plants,...).

Toutes choses égales, c'est avec le greffage qu'un progrès spectaculaire sur la productivité avait été démontré à Douiet (pic de 300t/ha). Malheureusement l'investissement requis pour un projet de pépinière sur place n'est pas rentable, en raison de la superficie limitée en tomate dans la région.

La tomate est une espèce originaire des régions chaudes, avec des besoins assez élevés en température pour sa croissance. Tout compte fait, c'est le bilan énergétique qui limite la marge de progrès sur le rendement dans le site de culture. Pour la période concernée par la production de tomate de primeur en vue de l'exportation (novembre à avril), ce bilan est loin d'être favorable même avec le chauffage géothermique. Le nombre de bouquets produits par an est beaucoup plus faible par rapport à d'autres zones comme Dakhla (24 contre 28) à bilan énergétique

naturellement très positif, du fait d'une température oscillant constamment entre 14 et 28°C, l'hiver comme l'été [Soldini et al, 1997; Al Babaallal, 2004].

D'une manière générale, les meilleurs rendements notés correspondent aux années climatiques favorables à hiver moins froid, bien ensoleillées et avec moins de problèmes phytosanitaires.

## 6. IMPACT SUR LA QUALITE

En ce qui concerne cet aspect, il vaudrait mieux parler de défauts apparents attribuables à la mauvaise nutrition (insuffisance, déséquilibre) ou à l'interaction de la mauvaise nutrition avec d'autres facteurs aggravants tels que l'amplitude thermique, les basses températures nocturnes, la sensibilité variétale, ... que de la qualité au sens de Stevens [1979] et du Citfl [2000] qui est un concept beaucoup plus large.

Il n'y a jamais eu d'études sur la valeur gustative spécifique de la tomate de Douiet. Mais des études abondantes existent déjà par ailleurs sur le sujet et montrent que sur ce point, les résultats sont plutôt contradictoires et dépendent plus de la variété et de la saison que du mode de culture lui-même [Mars et al, 1985 ; Citfl, 2000]. Ils sont tantôt en faveur du plein sol et tantôt à l'avantage de la culture sur substrat.

Par contre, l'apport indéniable à mettre à l'actif de Douiet sur le plan qualitatif est celui du progrès considérable réalisé en matière de lutte intégrée afin de produire pour le consommateur, des tomates faisant appel à très peu de pesticides, sinon sans résidus de pesticides [Nouga, 1997].

En 18 ans, on a eu l'occasion de noter toute sorte de défauts qualitatifs signalés dans la littérature sur la tomate : fruit cordiforme, côtelé, collet vert, fissurations, éclatement, ...

Les défauts réels de qualité vécus, parmi ceux qui sont connus pour avoir partiellement comme origine une fertigation inadaptée, sont surtout les problèmes de Blotchy (excès de N, de Ca, insuffisance en K, faible EC,...)

au début du cycle, de la tomate creuse (froid couplé à un excès de N, EC faible, K insuffisant, ...), de la tomate molle (EC faible), et très secondairement la nécrose apicale en fin de cycle (EC élevée, insuffisance de Ca, excès de  $\text{NH}_4^+$ , de K, de Mg, ..).

Mais dans tous les cas, il n'y a jamais eu de problèmes qualitatifs majeurs à même de compromettre totalement la campagne d'exportation. Souvent le problème reste passager et lié momentanément au climat de la saison. Sur le plan commercial, la qualité de la tomate produite en hors sol à Douiet a plutôt forgé une bonne réputation à l'étranger et a été même à l'origine de marque devenue très célèbre sur le marché européen.

## 7. IMPACT SUR LA DURABILITE DU SYSTEME

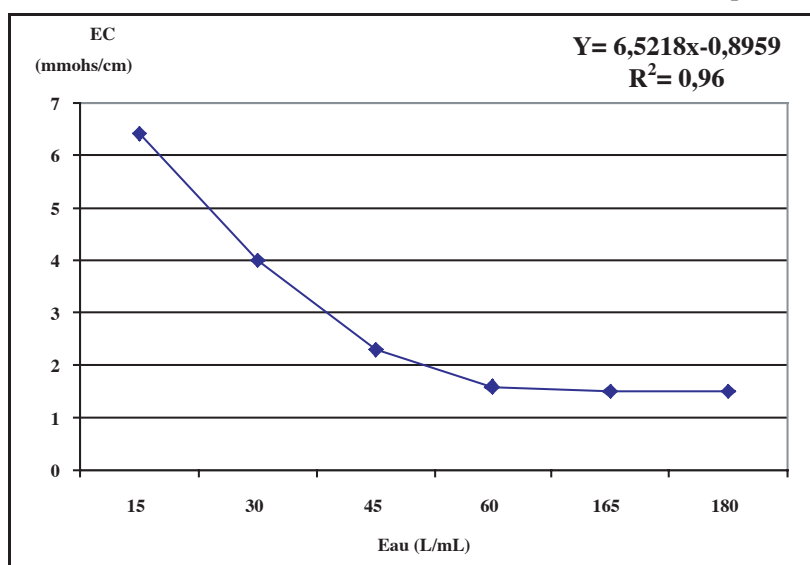
La durabilité d'un système hors sol, peut être compromise par l'apparition subite dans la nature, d'agent pathogène dangereux tel que le Tylc. Mais traditionnellement, le risque peut provenir d'une dégradation lente et irréversible du système, notamment des qualités du substrat, même en conditions de conduite normale.

Traitée sous l'angle de la fertigation, la menace sur la durabilité à Douiet, semble surtout liée à une

accumulation dangereuse de sel dans la pouzzolane. La réduction de l'espace poral par effritement physique, tassement, accumulation de matière organique racinaire,... a engendré une certaine tendance nette à freiner la bonne circulation des excédents de solution dans les gouttières, d'où d'importants dépôts de sels visibles même à l'œil nu, à la surface du substrat.

La figure 2, donne la réaction de la pouzzolane à la lixiviation de l'excès de sel par lavage à l'eau de Douiet. Le taux de sel du substrat diminue selon un modèle de type puissance. Il faut entre 40 et 60  $\text{dm}^3/\text{mL}$  de gouttière si l'on veut ramener la conductivité, de la valeur atteinte après 17 ans d'accumulation (soit 6.4 mmhos/cm), à la valeur asymptotique de 1.5 mmhos/cm. D'autre part, l'expérimentation montre qu'on n'atteint jamais l'EC de l'eau de lavage (soit 0.65 mmhos/cm) et à plus forte raison celle du substrat à l'état vierge (0.1 mmhos/cm), en procédant à des apports supplémentaires d'eau, vraisemblablement en raison de la valeur élevée de la capacité d'échange cationique (tab. 6).

Au stade actuel, le matériau peut être considéré comme fiable pour une productivité de 220-250 t/ha sur 18 ans, à condition de prendre la



**FIG.2 :** Evolution de la conductivité de la pouzzolane en fonction du volume de lavage à l'eau douce.

précaution de rétablir le niveau dans le conteneur, en rajoutant chaque année 3 à 5 % pour compenser les pertes sur les côtés et par tassement. Par contre, il est difficile de se prononcer de combien d'années la longévité du système peut être prolongée après ce lavage, quoi que le bon comportement de la tomate (au stade R4 à la date de la rédaction de cet article) laisse présager la possibilité d'encore utiliser le substrat 4 à 5 années de plus, sans baisse significative de productivité.

La durabilité n'est pas seulement une question de performances agronomiques mais aussi de rentabilité.

Sous cet angle économique de la durabilité, l'enseignement vital à tirer de Douiet pour l'avenir, est la nécessité d'une stratégie à plusieurs scénarios de culture, tous réalisables dans les mêmes installations, mais dont l'un sera exécuté et les autres gardés sous la main, pour faire face aux imprévus du marché. Eu égard au volume des investissements engagés dans ce genre de projet, il ne faudrait surtout pas commettre dans l'avenir, l'aberration du scénario à une seule monoculture et d'attendre de constater l'effondrement des prix, pour commencer à entreprendre la recherche de solutions de rechange.

La figure 3, montre à quel point la rentabilité d'un grand projet, pourtant étudiée avec beaucoup de soins, peut être « zérotée » peu de temps après sa mise en place, en raison de l'effondrement subite et irréversible du prix sur le marché.

Le prix de 5 Dh/kg prévu pour la tomate ronde (produit numéro 1 considéré dans le calcul initial de rentabilité) n'a été réalisé que les deux premières années. Il a ensuite chuté de façon draconienne obligeant dès 1993 à engager un long processus de diversification (introduction de la pêche précoce à haute densité, du raisin précoce,...), afin de continuer à assurer une rentabilité minimum. Tout s'était passé, comme si l'étude du projet avait été réalisée la veille de grands changements dont il n'avait pas été tenu compte.

## 8. IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

L'une des interrogations majeures du système de fertigation avec solution perdue est son impact sur l'environnement. En agriculture et en fertigation en particulier, c'est surtout l'azote et le phosphore qui sont mis à l'index en cas d'excès [Bonnieux et Rainelli, 1990; Lacaze, 1996]. Le préjudice porté à l'environnement peut être la dégradation de la qualité de l'eau si celle-ci est destinée à un usage domestique ou en le phénomène d'eutrophisation aboutissant à la formation de marées vertes, d'eaux colorées, ... voire à la dégradation du milieu aquatique par prolifération algale, dés-oxygénation et production de toxines [Rosenberg, 1985; Lacaze, 1996].

A Douiet, il ne peut y avoir d'impact significatif dans l'état actuel des choses, du fait qu'on est en présence d'un projet unique parfaitement isolé. Les masses absolues de substances en  $\text{NO}_3$  et en P drainées par les caniveaux des serres sont très faibles (soit resp. 0.57 et 0.20 kg/ha/j). L'équivalent habitant de pollution, rappelons-le, est dans certains pays fixés à 15 gr/j d'azote et 4 gr/j de P. Le risque aurait été tout naturellement différent si la région était partout parsemée de ce

genre de projets avec rejet systématique de fertilisants dans le réseau hydrographique sans transit par le lagunage [Piétrasanta et Bondon, 1994].

D'autre part, il ne faudrait pas oublier que le drainage coïncide avec la période hivernale caractérisée par des vagues de pluie importantes. D'où des concentrations en fin de compte infinitésimales (par effet de dilution), eu égard aux côtes d'alerte décrétées par les divers organismes dont l'OMS (50 ppm de  $\text{NO}_3^-$  pour les sources destinées à l'eau potable).

Dans les puits superficiels limitrophes ( $H < 30\text{m}$ ), l'analyse réalisée à l'occasion de cette étude, montre des concentrations de l'ordre de 30 mg/L. Mais ce résultat ne peut être interprété comme étant la conséquence des rejets azotés en provenance de l'hors sol. D'une part, en raison de l'absence de témoin d'avant projet et d'autre part, du fait de la présence dans le voisinage d'autres sources de pollution diffuse comme les étables, le maraîchage plein sol, la grande culture...

Le risque des effluents agricoles n'est réel que si ceux-ci empruntent le cycle habituel de pollution. Douiet est le site type où l'on peut faire de l'hors sol un

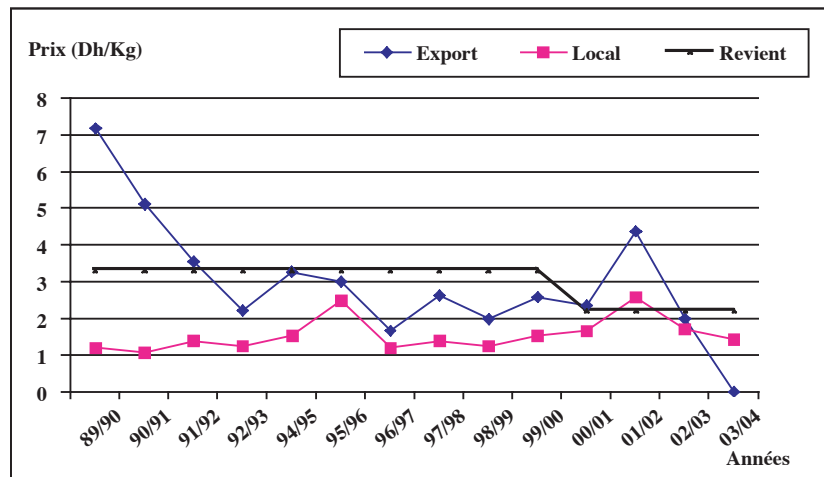


FIG.3 : Evolution du prix de la tomate ronde en fonction des années à Douiet.

Eléments	$\text{NO}_3$	P	K	Mg	Ca	Na
Concentration (ppm)	650	25	250	45	110	60

Tableau 5 : Concentration en fertilisants des eaux de drainage en provenance des serres (ppm)

### Références bibliographiques

- Aït Houssa A., 1998: Cours fertigation de 3<sup>ème</sup> Cycle. Département d'Agronomie. ENA Meknès – Maroc.
- Al Babaallal, 2004 : Observations réalisées sur la tomate au Domaine Agricole de Dakhla.
- Bonnieux F., Rainelli P., 1990 : Fonction de dommage à l'environnement et pollution par les nitrates d'origine agricole. Colloque International Nitrates-Agriculture-Eau organisé par Inra-France. Paris La Défense novembre 7-8 : 576 p.
- Bucks D., Nakayama F.S., 1980: Injection of fertilisers and other chemicals for drip irrigation. U.S Depart for Agricultural, pp 166-180.
- Chossat J.C. 1995 : Entretien en micro-irrigation. Etudes du Cemagref, Série équipements pour l'eau et l'environnement n°19 : 73 p.
- Citfl., 1986 : Cultures légumières sur substrats, ouvrage collectif, 2<sup>ème</sup> édition, 276 p.
- Citfl., 2000: Tomate pour un produit de qualité, ouvrage collectif, 222 p.
- Coïc Y., Lesaint C., 1973 : La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée. Document technique de la SCPA n° 23, 21p.
- Cornillon P., 1985 : Influence de la température des racines sur la croissance et la nutrition des plantes. Les cultures hors sol. Les Actions Thématiques Programmées de l'Inra France:221-234 pp.
- Couteaudier Y., Louvet J., Alabouvette C., 1985: Les problèmes pathologiques en hors sol. Les cultures hors sol. Les Actions Thématiques Programmées de l'Inra France:321-232 pp.
- Gorini F., 1997:Guide complet de la culture des tomates. Editions de Vecchi S.A, 20, rue de la trémoille, 75000 Paris : 111p.

système risque zéro pollution sur l'environnement en recyclant le drainage pour fertiliser la grande culture dans les pivots à côté. Ce qui suppose un bassin d'accumulation équipé de géomembrane pour empêcher toute entrée directe des sels polluants dans le cycle de pollution et d'eutrophisation.

### 9. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Introduite depuis bientôt 18 ans à Douiet, la fertigation selon le principe Coïc-Lesaint a fait l'objet de nombreux ajustements afin de l'adapter au contexte local de la zone.

Pour des semis de fin juillet / début août en vue d'une exportation à partir de fin automne, l'azote doit être diminué. Des concentrations autour de 13 meq /L de N (ammonium compris) sont suffisantes, sinon le plant réagit, sous l'effet aggravant des fortes chaleurs de fin d'été, par un feuillage surabondant, une mauvaise nouaison et un premier étage de bouquet anormalement haut (60-80 cm).

Dans ce contexte climatique, on a été souvent amené les premières semaines à agir sur la salinité ( $EC > 2.5$  mmhos/cm) pour empêcher le plant de trop filer.

Pour les quatre cations considérés importants dans la méthode, nous avons été surtout frappés au départ par la présence d'excès de Ca dans le drainage. L'antagonisme avec les autres cations (K, Mg, Na) a été le premier suspecté. Mais la forte présence d'oxalate de calcium dans le fruit n'était pas favorable à cette hypothèse. Le phénomène a duré plusieurs années consécutives sans que l'on en détermine l'origine. Les recherches dans les dossiers d'avant projet, ont finalement montré que le Ca provenait en fait du substrat de culture. Tout se passe comme si la pouzzolane perdait son calcium de réserve par appauvrissement du complexe d'échange et par dissolution lente de son calcaire, sous l'effet de l'acidité de la fertigation.

Comme dans les calculs des solutions ce calcium endogène n'était pas pris en compte, la concentration finale de

l'élément dans le substrat devient très défavorable à l'absorption du magnésium, ce qui explique en partie l'apparition systématique en hiver, de carences aiguës en Mg sur les premiers étages foliaires.

L'expérience sur ce site de culture a également montré, que c'est surtout durant les périodes hivernales froides et par temps couvert, qu'il faudrait surveiller l'alimentation en K pour éviter les fruits creux et les problèmes de fermeté.

Les équilibres en macro éléments n'ont pas été les seuls à faire l'objet d'adaptation à Douiet, mais aussi les oligo-éléments. Les concentrations conventionnelles proposées par Coïc-Lesaint, se sont souvent avérées insuffisantes pour répondre au besoin de la plante, en particulier pour le fer. Le phénomène de la chlorose ferrique, très visible sur le feuillage, par temps froid et couvert, oblige à doubler les concentrations, voire certaines campagnes à intervenir par voie foliaire en utilisant des cocktails prêts pour l'emploi. Par contre, contrairement aux habitudes inculquées aux techniciens, on n'observe pas d'efficacité particulière liée au fer chélaté type EDDHA par rapport aux autres formes. Compte tenu des plages réelles de pH du milieu (5.8-6.2), l'expérience a montré que des molécules chélatées moins élaborées et moins coûteuses comme Fe-DTPA, Fe-HEDTA donnent les mêmes résultats.

Quoi qu'on soit inscrit durant longtemps dans une stratégie de gestion de drainage plus soucieuse des risques de salinisation (25-30 %), le substrat a réagi au bout de 17 ans de culture par une augmentation accrue de salinité. Ce qui a exigé un lavage avec d'importants volumes d'eau douce avant de le ressemer pour une année de plus. Par conséquent, d'après cette première expérience sur la pouzzolane locale du Maroc, le matériau peut être considéré comme fiable sous fertigation, pour une productivité de 220-250 t/ha sur une période d'au moins 18 ans. Sous réserve d'une bonne désinfection et de prendre la précaution de rétablir régulièrement le niveau dans les

### Références bibliographiques

- Jeannequin B., 1985 : Fertilisation de la tomate en culture hors sol en région méditerranéenne. Les cultures hors sol. Les Actions Thématiques Programmées de l'Inra France, 235-236 pp.
- Lacaze J.C., 1996 : L'eutrophisation des eaux marines et continentales. Ellipses/Editions marketing S.A, 32 rue Bargue, Paris (15ème) : 191 p.
- Mars Simone., Otto Christine., Blanc Denise., 1985 : La qualité de la tomate. Influence du substrat et de la nutrition. Les cultures hors sol. Les Actions Thématiques Programmées de l'Inra France : 347-350 pp.
- Nouga M., 1997 : Les Résultats de la lutte intégrée en cultures protégées au Domaine Douiet.
- Journées d'information. Doc. de synthèse, Domaine Agricole de Douiet, Maroc.
- Ouknider M., Aït Houssa A., 1994: Résultats d'essais de Solupotasse au Maroc. Journées Solupotasse, Anvers 27 et 28 juin, 13pp.
- Piétrasanta Y., Bondon D., 1994 : Le lagunage écologique. Ed. Economica. 49, rue Hericart, 75015 Paris: 111p.
- Rosenberg, 1985 : Eutrophication- The Future Marine Coastal nuisance ?, Mar. pollut. bull. 16(6), 227-231pp.
- Soldini J., Nadori E.B., Aït Houssa A., 1997: Le Projet Tiniguir, 7 ans après. Bulletin Interne, DDA, 2-3 pp.
- Stevens A., 1979: Tomato quality: Potential for developing cultivars with improved flavor. Acta horticulturae, 93, 317-329 pp.
- Verdure M., 1985: Calcul de la composition de la solution nutritive Coïc-Lesaint. Centre Impression, Limoges, France 31 p.

containers.

Bien entendu, la problématique des grands projets d'hors sol, n'est plus une question de maîtrise de la fertigation ou des techniques de production en général. Au Maroc, il y a tout ce qu'il faut comme ressources humaines et moyens technologiques (mises au point sur place ou importées

de l'étranger) pour y parvenir, à condition d'y mettre le prix.

Les vrais risques qui planent sur l'activité viennent aujourd'hui du manque de visibilité sur le marché de l'Export pour sécuriser l'investisseur, à cause de l'instabilité des prix.

### Annexes

#### 1ère E -F2

	Solution fille (meq/L)								
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Eau	0.02	2.99	2.44						0.33
HNO <sub>3</sub>					0.54	0.54			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					2.68				2.68
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>					0.78				
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				0.60			0.60		
Nit.de Ca		5				5	0.78		
KNO <sub>3</sub>	5					5			
MgSO <sub>4</sub>			1.4						1.4
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>				0.5		0.5			
Σ ions	5.02	7.99	3.84	1.1	4	11.04	1.38		4.41

#### F6 - R2

	Solution fille ( meq/L)								
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Eau	0.02	2.99	2.44						0.33
HNO <sub>3</sub>					0.75	0.75			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					2.68				2.68
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>					0.58		0.58		
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				1,04			1,04		
Nit.de Ca		3				3,0			
KNO <sub>3</sub>	7,0					7,0			
MgSO <sub>4</sub>			1,09						1,09
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>				0,36		0,36			
Σ ions	7,02	5,99	4,08	1,4		11,11	1,62		4,1

#### R2 - Fin culture

	Solution fille (meq/L)								
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Eau	0.02	2.99	2.44						0.33
HNO <sub>3</sub>					1.4	1.4			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					1.63				1.63
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				1.0			1		
Nit.de Ca		3.0				3.0			
KNO <sub>3</sub>	7.0					7.0			
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0								1.0
MgSO <sub>4</sub>			0.89						0.89
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>				0.29		0.29			
Σ ions	8.02	5.99	3.33	1.29	3.93	11.69	1.90		3.85

# FERTIGATION NPK DE JEUNES AGRUMES EQUIPES DE RAMPES AVEC GOUTTEURS INTEGRES

A. Aït Houssa<sup>1</sup>, Es. Nachate<sup>2</sup>, M. Benbella<sup>1</sup>.

## Résumé

On montre qu'au stade jeune verger, un système de micro-irrigation avec goutteurs intégrés est un système de fertigation de type solution partiellement «perdue», inefficace aux doses usuelles d'injection d'engrais et non économe aux fortes doses, en l'absence d'une culture intercalaire pour valoriser l'excès d'engrais distribué loin des racines de l'arbre.

D'après l'expérience dans la région du Gharb, le niveau plancher NPK avec zéro pousse végétative correspond à l'injection de 9U- 6U- 7U/ha/mois et le niveau confortable pour obtenir une pousse vigoureuse et continue sur l'arbre de février à octobre, durant les deux premières années, est de 26U- 9U- 10U/ha/mois.

Mots clés additionnels: fertigation, agrumes, goutteurs intégrés.

## 1. INTRODUCTION

Son impact spectaculaire (grâce à une double efficacité de l'eau et des engrais), sur l'entrée en production précoce des arbres, sur la productivité et la qualité des récoltes... fait aujourd'hui de la fertigation, une technologie incontournable (un passage obligé) pour la réussite de tout projet d'investissement, que ce soit sur agrumes, rosacées fruitières ou d'autres cultures.

Mais pour en tirer un meilleur parti, la fertigation exige cependant un changement radical des bases de raisonnement (dose NPK, époques d'apports...), par rapport à l'approche agronomique en vigueur dans les vergers traditionnels [Devaux et al, 1981; Aït Houssa et al, 1987; Loussert 1989].

Le but de cette note n'est pas de faire le point sur la question, mais de montrer que la négligence d'aspects parfois élémentaires, telle la stratégie de montage des goutteurs, peuvent limiter l'efficacité de cette technologie, si on ne prend pas garde d'en tenir compte au moment de décider des doses d'engrais à injecter.

## 2. CARACTERISTIQUES DU VERGER

Le verger concerné par le présent suivi de la fertigation, appartient aux

Domaines Agricoles du Gharb. Il est sis à Sidi Abdelaaziz sur la route de Khénichet (nord du Maroc). Il compte environ 120 ha de nouvelles plantations dont 70 ha d'un âge de un à deux ans et 50 ha de 3 à 4 ans. Les plantations sont en partie réalisées sur butte (gros ados d'une hauteur de 60/70 cm) et en partie à plat. Les variétés et les porte-greffes utilisés sont indiqués dans le tableau 1. L'écartement entre arbres sur la ligne est de 4 m pour les petits fruits (Marisol, Nules, Afourer, ...) et de 5 à 6 m pour les oranges (W. sanguine, Salustiana).

Le terrain est un Dehs lourd remarquablement homogène (30 % d'argile, 50 % de limons), riche en potasse (500 ppm de Kéch.), assez riche en phosphore (40 ppm de P-Olsen), plat (pente < 0.5 %) et faiblement perméable à l'eau.

## 3. STRATEGIE DE MISE EN PLACE DU GOUTTE A GOUTTE CHOISIE

Pour optimiser aussi bien l'investissement que le coût de l'eau et des engrais, en monoculture d'agrumes, il n'est pas indispensable d'équiper un jeune plant dès le départ de tous les goutteurs dont il n'aura besoin qu'une fois sa pleine capacité de production atteinte. Celle-ci ayant généralement lieu dans le contexte

marocain, au bout de 6 ou 7 ans selon les régions, les variétés, la qualité de la fertigation et de l'entretien du verger en général [Hanich, 1998; Navaro et Aït Houssa, 2000].

Le jeune plant peut être équipé d'un premier goutteur au moment de la plantation, ensuite d'un second, 2 ou 3 ans plus tard, puis d'un troisième et ainsi de suite jusqu'au dernier goutteur prévu dans les calculs de réseau pour apporter le besoin en eau à ETP maximale. Les goutteurs utilisés peuvent être de différents types et montés soit en dérivation soit en ligne [Ctifl, 1990 ; Cemagref, 1992 ; Aït Houssa, 1998].

Au Gharb (verger d'agrumes concerné par les présentes observations), il s'agit du premier projet réalisé par les Domaines Agricoles dans la région. Faute d'expérience, la main d'œuvre disponible n'est pas qualifiée pour un exercice de montage selon la procédure de rajout progressif de goutteurs décrite ci-dessus.

Aussi, pour éviter tout risque de déboire (risque d'autant plus important que les délais d'installation du réseau d'irrigation étaient très courts), il a été décidé d'équiper les 120 ha du projet d'agrumes dès leur plantation, de rampes avec goutteurs autorégulants intégrés de 4L/h, espacés de 1 m.

1. Département d'Agronomie. Ecole Nationale d'Agriculture, BP S/ 40, Meknès - Maroc.

2. Domaines Agricoles du Gharb. Route Dar Belamri, Sidi Slimane - Maroc

#### 4. FUMURES TESTEES ET RESULTATS OBTENUS

En équipant un jeune plant de la totalité des 4 goutteurs dès le départ (même raisonnement pour 5 ou 6 goutteurs), il est évident que la quantité d'eau et d'engrais injectés Q dans le réseau s'en trouve divisée par 4 :

$$Q_g = Q/4.$$

Du fait des écartements larges entre plants d'agrumes sur la ligne (4 m pour les petits fruits, 5 ou 6 m pour les oranges), quelle que soit la position des goutteurs par rapport au jeune plant (rampe porte goutteurs ajustée pour avoir 2 goutteurs de part et d'autre ou ajustée pour avoir un seul goutteur proche du plant), ce dernier ne peut en tirer profit que dans les limites permises par le développement de son système racinaire. Or, juste après plantation et même jusqu'à la fin de la 2ème année (tab. 1), celui-ci reste localisé autour de l'axe pivot (80-100 cm de part et d'autre). D'un rythme de croissance d'environ 40-50 cm par an ( $R_2 = 0,76^{**}$ ), la bande fertiguée par les 4 goutteurs de l'arbre n'est réellement explorée par le système racinaire qu'au bout de 3 à 4 ans. Si bien qu'en cas de monoculture d'agrumes, de la plantation à cette date, l'engrais apporté n'est pas totalement exploité par l'arbre. Dans le cadre des mesures réalisées au Gharb à l'occasion de la présente étude, il ne semble pas y avoir d'effet significatif porte/greffe sur l'allongement du système racinaire.

Le tableau n°2 montre la réaction du jeune plant à l'injection de doses croissantes de NPK dans le Gharb, obtenues par mélange entre l'ammonitrate, le phosphate mono-ammonique (MAP) et le sulfate de potasse pulvérulent (SKp).

La pousse végétative est nulle pour des doses d'injection NPK inférieures ou égales à 9U-6U-7U/ha/mois, même en portant la durée d'injection à plusieurs semaines. Quelques pousses chétives apparaissent aux doses 12U-7U-4U, tandis que le niveau confortable pour obtenir une pousse vigoureuse et continue sur l'arbre de février à octobre, est de 26U-9U-10 U/ha/mois.

Manifestement, il est connu que c'est surtout à l'azote que l'on doit attribuer l'essentiel de l'effet observé sur la croissance, d'autant plus qu'il s'agit ici de sol riche en PK assimilable.

#### 5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Si, au moment de la mise en place du réseau, la rampe avec goutteurs intégrés est la seule solution pour éviter les déboires, l'utilisateur doit être conscient du changement d'approche qu'engendre cette décision en matière de gestion de la fertigation au stade jeune verger.

Avec plusieurs goutteurs par arbre, une partie de l'eau et des engrais est apportée loin du chevelu racinaire et

reste inexploitable par l'arbre au stade jeune plant. Les vieilles recommandations pour vergers traditionnels en particulier (tab.3), où l'eau est apportée par gravité et l'engrais à la main ou au localisateur, doivent être considérées comme des bases de travail caduques pour la fertigation. Déjà très faible dans l'absolu, même en étant totalement profitable à l'arbre, la quantité devient insignifiante (pour un arbre devant évoluer en régime de croissance accéléré de la fertigation), une fois répartie entre les 4, 5 ou 6 goutteurs.

En présence de rampes avec goutteurs intégrés, le producteur n'a pas d'autres choix que de porter dès le départ, la dose à des niveaux élevés pour tenir compte de l'effet «diviseur» du

Variété	PG	Date plantation	Age	Racines (cm)
Cl. Aïn Taoujdate	Citrange	Sept. 2003	1	50
Marisol	Citrange	Sept. 2003	1	51
W. Sanguine	Bigaradier	Oct. 2003	1	43
Marisol	Bigaradier	Août. 2002	2	104
Nules	Citrange	Sept. 2002	2	83
Afourer	Bigaradier	Nov. 2001	3	222
CL. Berkane	Citrange	Nov. 2001	3	248
CL. Sidi Aissa	Bigaradier	Oct. 2001	3	174
Marisol	Bigaradier	Oct. 2000	4	175
Nules	Citrange	Sept. 2000	4	210
Salustiana	Bigaradier	Août. 2000	4	190

Tableau 1: Longueur du système racinaire autour de l'axe pivot en présence du goutte à goutte.

Doses NPK (U/mois)	9U-6U-7U	12U-7U-4U	26U-9U-10U
Pousse végétative	Nulle	Chétive	Vigoureuse et continue

Tableau 2: Réaction de jeunes plants d'agrumes à l'injection de fertilisants NPK.

Age plantation	Azote	Phosphore	Potasse
1ère année	50	25	40
2ème année	100	50	80

Tableau 3 : Besoins en NPK usuels pour un jeune verger d'agrumes traditionnel (gr/plant) (D'après SASMA et d'après Loussert 1989)

## Références Bibliographiques

- Aït Houssa A., Idrissi L., Lekchiri A. 1987: Logiciel de fertilisation raisonnée des agrumes au Maroc. SASMA, Aïn Sebaa, Casablanca, Maroc.
- Aït Houssa A., Bendaha M., 1987 : Etude de la solubilité des engrais ordinaires en vue de leur application pratique en irrigation fertilisante sur culture de bananier sous serre. Note Ingénieur, SASMA, Aïn Sebaa, Casablanca, Maroc.
- Aït Houssa A. , 1998: Stage pratique d'irrigation au profit des étudiants de 3ème cycle de l'ENA et de l'IAV Hassan II. Doc. Interne. Domaines Agricoles du Gharb, route de Dar Belamri, Sidi Slimane.
- Aït Houssa, 2002: Mesure des lixiviations hivernales d'engrais et des sels sur buttes aux Domaines Agricoles du Gharb. Résultats inédits.
- Cemagref., 1992: Irrigation. Guide pratique. Ouvrage collectif, 294 p.
- Ctifl, 1990: L'irrigation des arbres fruitiers. Ouvrage collectif, 255 p.
- Devaux R., Maachour M., Nadir M., Quessouar M., Bouamar M., 1981: L'azote. Note Ingénieur n°431, SASMA, 2006, Allée des Jardins, Aïn Sebaa, Casablanca, Maroc.
- Elkhamass M., Oulahcen B., Lekchiri A., 1996: L'irrigation fertilisante des agrumes et l'utilisation des engrais ordinaires. Actes Journées Nationales Scientifiques et Techniques sur les agrumes. Agadir 23-25 fév. Edit. CHA, BP. 18/S, Agadir-Maroc: 380 p.
- Hilal M., 2000: Observations réalisées sur culture de melon jaune canari aux Domaines Agricoles du Gharb. Résultats inédits.
- Hanich, 1998: Observations réalisées sur différentes variétés d'agrumes aux Domaines Agricoles de Marrakech. Résultats inédits.
- Lemchendeg, M., 2003: Observations réalisées sur cultures de pastèque et de melon aux Domaines Agricoles de Beni Mellal. Résultats inédits.

nombre de distributeurs. Autrement dit, pour 4 goutteurs, dont un seul est profitable au jeune arbre, pour que ce dernier dispose d'une dose X au niveau de son système racinaire, la quantité réelle à injecter dans le réseau, doit être au moins de 4 X.

Par conséquent, il ne faudrait pas s'étonner que pour obtenir une bonne croissance de l'arbre, la dose d'engrais en première et deuxième année, soit pratiquement de l'ordre de ce que l'on apporte d'habitude sur un verger adulte du moins pour N et P, soit 260 unités de N, 90 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 100 de K<sub>2</sub>O. Aux Domaines Agricoles de Beni Mellal, Lemchendeg, [2003], cite des doses d'environ 215 U d'azote, 200 U de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 250 U de K<sub>2</sub>O, avec culture de melon en intercalaire. Etant bien entendu que ces fumures sont quelque peu différentes de l'équilibre de base 1-0,3-1,2 préconisé par SASMA en cas de sol à l'entretien [Aït Houssa et Bendaha, 1987 ; Elkhamass et al, 1996].

L'autre recommandation qui devient caduque quand on passe à la fertigation, est la vieille notion de pousse de printemps, de pousse d'été et de pousse d'automne, utilisées en verger traditionnel comme repères végétatifs pour fixer les périodes d'apport des engrais, azotés en particulier: 1ère application à la sortie de l'hiver, 2ème en mars/avril, 3ème en juin/juillet et éventuellement une 4ème pour les variétés tardives en septembre/octobre [Devaux et al, 1981]. Avec la fertigation, la croissance des branches du jeune arbre est un processus quasi-continu (de février à octobre) qui ne dépend que de l'injection : plus on injecte de l'engrais NPK, meilleure est la croissance enregistrée. En plus d'une nutrition soutenue, la répartition de la dose totale sur les 9 à 10 mois de l'année, permet également d'éviter les à-coup (ou l'effet aggravant en cas d'eau un peu salée) des excès de sel, inévitables en épandage manuel, par suite des fortes concentrations de l'engrais apporté autour des racines.

Le second problème à gérer efficacement en cas de rampes de

goutteurs intégrés, est le risque sur l'environnement, des excédents importants d'engrais restants dans le bulbe. Ce risque n'est pas le même selon les climats et les types de sol.

Dans des régions arides (P < 200 mm/an) où il y a moins d'épisodes pluvieux, comme le Souss, Marrakech, .... on a toutes les raisons de croire que ce risque reste limité du fait que l'excédent d'engrais en stock dans le bulbe, sera par la suite rattrapé par le chevelu racinaire à mesure que l'arbre explore le sol. La gestion de l'eau étant supposée pilotée par des moyens appropriés (tensiométrie, ...) pour prévenir la lixiviation.

Le risque de pollution est par contre très grand sous des régimes à forte pluviométrie hivernale (P > 500 mm comme Larache, Gharb, Rabat, ...), en particulier en présence de sols sableux où tout peut migrer avec l'eau, y compris les cations, en raison d'une faible capacité d'échange cationique. Les observations réalisées dans le Gharb montrent qu'en cas de plantation réalisée sur butte, le risque subsiste même en sols lourds à forte capacité d'échange cationique [Aït Houssa, 2002]. D'habitude proche de zéro (0.10 à 0.15 mmhos/cm), la conductivité électrique des eaux de drainage hivernal, atteint des valeurs de 1 à 2 mmhos/cm par suite de sa pollution par les engrais (et des autres sels en provenance de l'eau d'irrigation) accumulés dans le bulbe pendant l'été.

Le dernier problème de la rampe intégrée à prendre en compte (qui n'est pas des moindres) est le coût élevé de l'eau et des engrais si aucune disposition n'est prise pour valoriser les excédents apportés par rapport au besoin réel du jeune plant d'agrumes.

En choisissant un système de rampes avec goutteurs intégrés, la gestion efficace de la fertigation suppose dès le départ une culture intercalaire, d'une part pour protéger l'environnement contre la pollution et d'autre part pour valoriser les excédents d'engrais déposés loin du système racinaire de l'arbre.

Les espèces envisageables sont

nombreuses. Aux Domaines Agricoles (Gharb, Beni Mellal, Marrakech,...), l'expérience a surtout montré l'intérêt du melon Galia et Jaune Canari comme culture intercalaire très adaptée à la fertigation, aussi bien en productivité qu'en qualité. Sous réserve d'être épargné des coûts de Chergui de l'été, des rendements voisins de 30-40 t/ha sont réalisables,

sans avoir besoin de majorer la quantité d'engrais par rapport à la demande apparente du jeune plant d'agrumes [Hilal, 2000; Lemchendeg, 2003]. Sauf mauvaise année, la culture est en outre très rentable (2 000 à 5 000 \$/ha de recette) et peut couvrir, en plus de ses propres charges, celles des jeunes agrumes (du moins en partie), en attendant leur entrée en production.

### Références Bibliographiques

- Loussert R., 1989: Les agrumes. 2<sup>e</sup> production. Techniques Agricoles méditerranéennes. Technique et documentation Lavoisier. 11, rue Lavoisier-75384 Paris Cedex 08-France: 157p.
- Navaro B., Aït Houssa A., 2000: Projet de micro-irrigation avec goutteur en ligne aux Arômes du Maroc.

# POLITIQUE D'INCITATION A L'ECONOMIE D'EAU ET A SA VALORISATION EN AGRICULTURE IRRIGUEE AU MAROC

**M. Belghiti<sup>1</sup>**

## 1. LE SECTEUR DE L'IRRIGATION : ETAT DES LIEUX ET ENJEUX

### 1.1- Potentiel irrigable

Dès l'avènement de son indépendance, le Maroc a intimement lié son développement économique et social à la maîtrise de ses ressources en eau, et le développement de l'irrigation s'est inscrit dans le cadre d'une politique globale et intégrée de développement des ressources en eau visant la valorisation des ressources en eau et l'optimisation des investissements dans le secteur de l'eau.

Eu égard aux ressources en eau mobilisables pouvant être affectées au développement de l'irrigation, le potentiel des terres irrigables de façon pérenne est estimé à 1.36 millions d'hectares représentant près de 15% de la superficie agricole utile globale du pays estimée à 8.7 millions d'hectares. A cela, s'ajoutent environ 300.000 ha de terres irrigables de façon saisonnière et par épandage d'eau de crues.

Le potentiel irrigable reste donc relativement limité, par rapport à l'étendue des zones arides, aux besoins en produits alimentaires de base de la population en constante croissance et à l'instabilité quasi-structurelle des productions en zones Bour de plus en plus affectées par les sécheresses récurrentes.

### 1.2. Les réalisations

Les efforts consentis, en matière de mobilisation des ressources en eau et d'aménagement des terres pour l'irrigation, ont permis de concrétiser l'objectif du million d'hectares irrigués d'une façon pérenne.

La politique volontariste poursuivie par le Maroc en matière de dévelop-

pement et de valorisation des ressources en eau a permis de disposer d'acquis indéniables dans les domaines:

- de la mobilisation des ressources en eau et des infrastructures hydrauliques: A ce jour plus de 100 barrages d'une capacité de stockage avoisinant 14.5 Milliards de m<sup>3</sup> sont réalisés. Ces barrages permettent de mobiliser en année d'hydraulicité moyenne près de 13 Milliards de m<sup>3</sup>, soit environ 80% des ressources en eau de surface mobilisables. Ces ressources en eau bénéficient principalement à la sécurisation de l'alimentation en eau potable, au développement de l'irrigation, à la production de l'énergie hydroélectrique et à la protection contre les inondations;

- et du développement des périmètres d'irrigation: Les superficies aménagées par les soins de l'Etat sont passées de 137.000 ha en 1967 à plus d'un million d'ha aujourd'hui. Les aménagements hydroagricoles réalisés par les soins de l'Etat ont concerné aussi bien les périmètres de grande hydraulique (685.000 ha) que les périmètres de petite et moyenne hydraulique (334.000 ha) répartis sur l'ensemble du territoire national et qui jouent un rôle déterminant dans la conservation des ressources naturelles, la valorisation des ressources en eau difficilement régularisables et dans la lutte contre

la désertification. A ces aménagements réalisés par l'Etat viennent s'ajouter les aménagements réalisés par le privé qui portent sur plus de 400.000 ha.

### 1.3. Impacts de l'irrigation

*Sur la production agricole*

La mise en valeur dans les périmètres irrigués a connu des progrès notoires grâce à l'intensification et à la diversification des cultures sous irrigation. La production agricole dans ces périmètres a augmenté à un rythme moyen de 8% par an depuis 1960. Les impacts les plus remarquables ont concerné :

- les fruits et légumes pour lesquels la production nationale couvre la totalité de la demande nationale et une partie de cette production est destinée à l'exportation. Les avantages comparatifs dont dispose le Maroc pour certaines filières telles que les agrumes et les primeurs notamment la tomate constituent le fer de lance des exportations agricoles nationales.

les cultures maraîchères qui occupent une superficie moyenne de près de 225.000 ha assurent une production moyenne de 4 millions de tonnes de légumes qui couvrent la totalité des besoins de consommation nationale et dont les excédents constituent une source appréciable de devises et contribuent à l'essor des unités de conditionnement et des industries agroalimentaires alimentées en

**Superficies irrigables (en ha)**

Type d'irrigation	Grande Hydraulique		Petite et Moyenne hydraulique		Total
	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	
Pérenne	880.160 ha	65%	484.090 ha	35%	1.364.250 ha
Saisonnière et de crue	-	-	300.000 ha	100%	300.000 ha
<b>Total</b>	<b>880.160 ha</b>	<b>53%</b>	<b>784.090 ha</b>	<b>47%</b>	<b>1.664.250 ha</b>

*1. Ingénieur du Génie Rural -chef de Service des Etudes Générales - Direction du Développement et de la Gestion de l'Irrigation Administration du Génie Rural*

matières premières par ces productions.

Les superficies des cultures sous-serre ont connu une extension rapide durant les 10 dernières années passant de quelques centaines d'hectares à la fin des années 80 à près de 7.000 ha à la fin des années 90.

les agrumes jouent un rôle socio-économique important tant à l'échelle nationale que régionale. Ce secteur occupe actuellement près de 74.000 ha avec une production moyenne durant les 10 dernières années de près de 1.3 million de tonnes couvrant ainsi les besoins du marché intérieur et des excédents importants sont destinés à l'exportation. Malgré la tendance marquée par la baisse des exportations durant les 20 dernières années (600.000 tonnes durant la période 1975-80 contre 550.000 tonnes au cours de la dernière décennie) le secteur des agrumes demeure une source de devises appréciable.

Les rosacées ont enregistré une extension constante au cours de la dernière décennie passant de près de 150.000 ha à près de 200.000 ha actuellement. Cette extension s'est faite en faveur principalement du pommier dont la production couvre les besoins de la consommation nationale.

- le sucre pour lequel la production nationale a connu une croissance soutenue grâce au développement de la betterave et de la canne à sucre dans les périmètres de grande hydraulique. Plus de 500.000 tonnes de sucre de canne et de betterave représentant un peu plus que la moitié de la consommation nationale actuelle ont été produites durant l'année 2000, quasi-exclusivement dans les zones irriguées et ce malgré la persistance de la sécheresse durant la dernière décennie;

- les produits laitiers ont bénéficié du développement des fourrages sous irrigation et les niveaux de satisfaction de la demande nationale en lait frais et en produits laitiers ont progressivement augmenté grâce à la production des zones irriguées. Plus de 1.1 milliard de litres de lait frais

correspondant à la couverture des besoins intérieurs de consommation de lait frais sont produits durant l'année 2000 grâce à la production de fourrages verts, produit principalement en zones irriguées

#### *Sur le développement rural*

L'extension de l'irrigation a permis également de promouvoir le développement rural à travers notamment l'augmentation et la stabilisation des revenus des ruraux.

Plus que tout autre investissement agricole, l'irrigation joue un rôle capital dans l'entraînement des autres activités à l'amont et à l'aval de la production agricole. Les systèmes de production irrigués dégagent de plus fortes valeurs ajoutées et sont de gros consommateurs de facteurs de production et de main d'œuvre. Les charges de production hors frais d'irrigation en zones irriguées sont en moyenne de 3 à 8 fois supérieures à celles des systèmes de production des céréales en Bour. Cette différence donne une indication de l'impact de l'irrigation sur l'environnement socio-économique et sur les flux d'échanges qu'elle induit. L'irrigation contribue ainsi à l'essor des diverses entreprises et activités prolongeant et accompagnant l'irrigation. A l'amont, les industries de production et de fourniture des intrants, des services, de matériel et de matériaux et à l'aval l'agro-industrie, les services et le transport en sont les principaux bénéficiaires.

En matière de création d'emplois, on estime que les superficies cultivées sous irrigation procurent près de 120 millions de journées de travail par an, soit environ 1.650.000 emplois dont 250.000 permanents, ce qui représente plus de 50 % des emplois générés par l'ensemble de la production agricole nationale. A cela s'ajoutent les emplois créés dans les autres activités à l'amont et à l'aval de l'agriculture irriguée.

Les études de post-évaluation menées sur certains projets de grande irrigation ont montré que les revenus engendrés par l'irrigation sont 4 à 8 fois supérieurs à ceux obtenus en

situation sans irrigation. Par ailleurs, la stabilisation des revenus permise par l'irrigation est aussi importante que l'accroissement de ces revenus, car c'est elle qui détermine l'adoption de stratégies d'investissement à moyen et long terme que l'on constate dans les exploitations ayant bénéficié de l'irrigation.

Les infrastructures créées à l'occasion des projets d'aménagement hydro-agricole contribuent à l'amélioration des conditions de vie des populations bénéficiaires : les réseaux de routes et de pistes rurales créés ou renforcés dans le cadre du remembrement agricole ont permis le désenclavement des zones concernées. Le regroupement de l'habitat, facilité par le remembrement des terres, a créé les conditions favorables à la mise en place d'infrastructures socio-économiques telles l'électrification, l'eau potable, l'assainissement, l'école...

#### *Sur l'économie nationale*

Tant à l'amont qu'à l'aval de l'activité agricole, se sont développées des activités industrielles impulsées par le développement de l'irrigation.

A l'amont, la réalisation de l'infrastructure d'irrigation et des travaux connexes, a eu des retombées importantes sur les secteurs des travaux publics, de l'industrie et des services. Mais, c'est surtout à l'aval qu'un tissu agro-industriel important a été mis en place pour traiter une production agricole dont l'essentiel sinon la totalité provient de l'irrigué:

- 13 sucreries d'une capacité totale de l'ordre de 600.000 tonnes par jour de betterave et de canne à sucre;
- 13 laiteries d'une capacité de l'ordre de 500 millions de litres par an ;
- des centaines de stations de conditionnement, d'entrepôts frigorifiques et de conserveries de fruits et légumes pour une capacité supérieure à un million de tonnes par an.
- des unités d'égrenage du coton, des rizeries, etc.

Globalement, bien que les zones irriguées ne couvrent que 13% de la

superficie agricole utile du pays, elles contribuent pour 45% de la valeur ajoutée agricole en année d'hydraulicité moyenne et à plus de 70% en année sèche et pour 75% des exportations des produits agricoles, ainsi malgré la persistance de la sécheresse durant les campagnes agricoles 1998-1999 et 1999-2000, les exportations d'agrumes et de primeurs assurées en quasi-totalité à partir des zones irriguées, ont atteint en 2000 près de 758.000 tonnes soit une valeur de 3.694 millions de Dirhams ou l'équivalent de 67 % de la valeur des importations de blé durant la même année ou près de 97 % des importations de blé durant l'année 1999.

## **2. L'AGRICULTURE IRRIGUEE FACE AUX NOUVEAUX DEFIS**

### **Contraintes au développement**

Après la phase démarrage et d'apprentissage de l'irrigation durant laquelle les subventions sur des fonds publics ont joué un rôle crucial dans la création des infrastructures d'irrigation et la mise en valeur des terres, les périmètres de grande hydraulique sont fortement interpellés pour assurer durablement et efficacement le fonctionnement et la maintenance/renouvellement des systèmes d'irrigation au moindre coût pour la collectivité nationale.

Les principales contraintes et limites au développement durable de l'irrigation se trouvent à 3 niveaux :

#### **2.1. Au niveau de la politique de l'eau:**

i. Faiblesse de la coordination des investissements publics barrages/irrigation: Dans un contexte de ressources en eau limitées, où la mobilisation de l'eau requiert des investissements publics coûteux, la recherche de la cohérence, tant au niveau de la planification qu'au niveau de la réalisation des infrastructures hydrauliques et des aménagements d'irrigation, est cruciale pour assurer la valorisation des ressources en eau et la rentabilisation des investissements consentis. Tout décalage entre les

infrastructures de mobilisation des eaux et les aménagements hydro-agricoles, se traduit inévitablement par des pertes d'eau et un manque à gagner économique.

La programmation des barrages et des aménagements d'irrigation a accusé un déficit en termes de coordination des financements et d'allocation des ressources budgétaires de l'Etat et ce, en dépit de la cohérence recherchée à travers la planification intégrée adoptée pour le secteur de l'eau depuis les 3 dernières décennies. Ces distorsions se traduisent par un décalage important entre les barrages construits et les superficies à aménager qu'ils dominent qui s'élève à près de 123.000 ha. L'approche sectorielle adoptée dans la programmation et le financement des investissements publics dans le secteur de l'eau expliquent les distorsions constatées.

Le décalage constaté conduit à une sous valorisation de près de 1.2 milliards de m<sup>3</sup> de ressources en eau mobilisées et par conséquent un manque à gagner en terme de production agricole estimé à une perte de valeur ajoutée agricole de près de 2.6 milliards de DH annuellement et une perte de près de 11 millions de journées de travail par an, soit l'équivalent de 54.000 emplois permanents.

ii. Faiblesse des mécanismes de régulation de l'exploitation des ressources en eau souterraines :

La surexploitation et la pollution menacent les nappes d'eau souterraines les plus productives et les plus facilement accessibles et qui ont les ressources en eaux les moins coûteuses à mobiliser. Ces nappes qui constituent le moteur du développement de l'irrigation privée dans plusieurs régions sont exploitées au delà de leurs possibilités de renouvellement et de ce fait elles menacent la durabilité d'un potentiel important de production agricole.

Cette surexploitation tient principalement à la faiblesse de la gouvernance et des mécanismes de régulation et de contrôle de ces ressources qui n'intègrent pas les incitations économiques et l'impli-

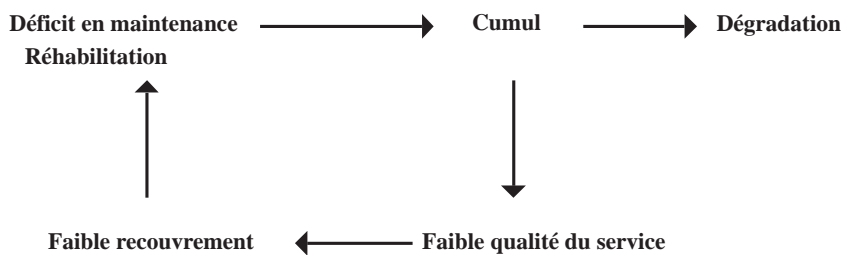
cation des usagers d'une part et au manque de moyens de contrôle et de police de l'eau.

#### **2.2. Au niveau de la gestion des systèmes d'irrigation**

i. la dégradation du patrimoine et de la qualité du service aux usagers due au déficit en maintenance des équipements : le vieillissement des infrastructures d'irrigation, conjugué à l'insuffisance de leur maintenance, menace l'efficacité voire même la continuité du service de l'eau dans certains périmètres d'irrigation. Plus du quart du patrimoine hydro-agricole en grande hydraulique dépasse 30 ans d'âge, de ce fait le renouvellement, la réhabilitation et le renforcement de l'entretien des infrastructures hydro-agricoles existantes constituent un défi majeur à relever dans l'avenir.

Globalement pour l'ensemble des ORMVA, les budgets consacrés à la maintenance des réseaux sont très insuffisants en comparaison avec les besoins pour assurer la durabilité des équipements. Le déficit en maintenance continu des systèmes d'irrigation se traduit par un cumul de dégradations au cours des années dont la réparation exige des travaux de réhabilitation répétitifs et très coûteux. C'est dans ce cadre qu'ont été entrepris les programmes PAGI-1 et PAGI-2 ( 1983-2000) avec un coût total de réhabilitation de 2.2 milliards de DH et qui ne sont pas arrivés à épuiser les besoins puisqu'un programme complémentaire de 1.75 milliards de DH a été identifié et a été programmé à hauteur de 50% dans le plan de développement économique et social 2000-2004.

En plus de cet impact direct sur les finances de l'Etat, le déficit en maintenance des réseaux d'irrigation agit sur le taux de recouvrement des redevances d'eau en incitant les agriculteurs à ne pas payer leur facture en raison du mauvais service fourni. Les ORMVA sont alors confrontés au fameux cercle vicieux du déficit en maintenance connu dans de nombreux périmètres d'irrigation dans le monde et schématisé ci-dessous.



ii. les faibles performances financières du service de l'eau

La situation financière du service de l'eau enregistre une dégradation liée à (i) une structure des coûts pénalisée par les charges de structure des ORMVA, (ii) une couverture insuffisante des coûts de revient de l'eau par les tarifs appliqués et (iii) une détérioration du taux de recouvrement des créances. De plus, les recettes de l'eau contribuent à la couverture des charges des missions de service public (aménagement et développement agricole) au détriment de la maintenance des réseaux.

Le tarif moyen pratiqué couvre les coûts de revient moyens hors amortissements à l'exception des ORMVA du Gharb, Loukkos et Souss Massa, où l'énergie de pompage représente une charge importante. Mais cette situation ne tient pas compte d'un niveau adéquat de maintenance.

Sur un cycle de 8 ans le taux de recouvrement cumulé se situe à 87%. Ceci dénote du faible effort développé en matière de recouvrement et qu'un cycle dépassant les 20 ans est nécessaire pour recouvrer la quasi totalité des créances. Cette situation pénalise la trésorerie des ORMVA.

Hors amortissements, le service de l'eau contribue pour 120 millions de Dh à la couverture des charges de l'administration générale des ORMVA. La contribution des autres activités étant négative, le service de l'eau "subventionné" donc en interne les activités relevant des missions de service public qui normalement doivent être couvertes par des subventions de l'Etat.

**2.3. Au niveau de l'insuffisance des performances hydrauliques et de valorisation de l'eau à l'échelle des exploitations agricoles**

Dans un contexte de raréfaction croissante des ressources en eau, aggravée par des sécheresses récurrentes et aiguës, l'équilibre entre l'offre et la demande en eau deviendra de plus en plus difficile à assurer surtout pour la satisfaction de la demande en eau du secteur de l'irrigation qui consomme plus de 80% des ressources en eau mobilisées. Le développement du secteur de l'irrigation et sa durabilité requièrent dans ces conditions la maîtrise de la demande en eau d'irrigation et l'économie d'eau.

Malgré les efforts déployés dans ce domaine, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, particulièrement au niveau des exploitations agricoles où une grande partie des pertes d'eau est constatée, reste faible eu égard aux possibilités qu'offre l'adoption des techniques modernes d'irrigation.

Actuellement près de 6% seulement des superficies irriguées sont équipées en techniques modernes d'irrigation économes en eau. Le rattrapage du retard constaté dans ce domaine constitue une opportunité pour une meilleure valorisation de l'eau et un défi majeur à relever durant les prochaines années.

**De nouveaux défis**

Avec la pression croissante sur les ressources en eau accentuée par les menaces des changements climatiques et de la globalisation des échanges, l'agriculture irriguée se trouve confrontée à de nouvelles exigences. En effet, les ressources en eau ne peuvent satisfaire que de plus en plus difficilement les demandes en eau des

différents secteurs qui sont en perpétuelle augmentation, en raison de l'accroissement démographique et du développement des activités économiques.

Dans ce contexte, pour faire face aux besoins alimentaires sans cesse croissants du pays, le secteur irrigué est appelé à produire davantage et mieux avec moins d'eau tout en restant compétitif et durable.

L'agriculture irriguée se trouve ainsi confrontée à un double défi qu'elle doit relever. Il faudra étendre l'irrigation à de nouvelles superficies et en même temps, améliorer les performances des périmètres irrigués.

Le premier défi: réside dans la poursuite de l'extension de l'irrigation qui s'impose, non seulement dans le cadre d'une politique hydraulique harmonieuse mais aussi et surtout compte tenu de l'aridité du climat qui réduit de plus en plus l'espace agricole productif du pays et des avantages comparatifs qu'offre l'irrigation en tant que levier pour améliorer la compétitivité de l'agriculture. Cette extension doit concerner en priorité une superficie de près de 120.000 ha dominée actuellement par les barrages existants.

Le second défi: consiste à améliorer les performances de l'agriculture irriguée dans son ensemble pour la rendre plus productive, plus compétitive et durable. Dans ce cadre, des marges importantes de progrès se situent dans l'économie de l'eau, l'intensification et l'accroissement de la productivité de l'eau.

Pour relever ces défis, il faut s'attaquer aux principaux leviers de l'amélioration des performances et de la productivité de l'eau dans les zones irriguées à travers notamment les principales actions et mesures suivantes:

- la réhabilitation et la modernisation des équipements vétustes en vue de "mettre à niveau" l'infrastructure d'irrigation, réduire les pertes d'eau dans les réseaux de distribution et améliorer le service de l'eau;
- le renforcement de la maintenance des équipements en vue d'améliorer

la qualité du service de l'eau, d'assurer la pérennité des équipements et d'éviter les pertes d'eau dans les réseaux d'irrigation;

- la promotion de l'économie d'eau au niveau des exploitations agricoles par la poursuite de l'effort de développement et de diffusion des techniques adaptées, et des bonnes pratiques nécessaires à l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation et à la valorisation de l'eau et par l'octroi d'incitations à l'économie d'eau.

Ces actions n'auraient d'effets durables sans un accompagnement approprié et coordonné en matière :

- de poursuite de la mise à niveau du système de tarification de l'eau d'irrigation pour assurer la couverture du coût durable du service de l'eau constitué des charges récurrentes de fonctionnement, d'entretien et de renouvellement des systèmes d'irrigation et pour inciter les usagers à faire des économies d'eau et;
- de promotion de la participation des usagers à tous les niveaux de prise de décision, pour assurer leur implication effective dans la gestion des systèmes d'irrigation qui les concernent;
- de réforme du cadre institutionnel du

service de l'eau d'irrigation dans l'objectif de responsabiliser d'avantage l'ensemble des acteurs notamment les gestionnaires des réseaux d'irrigation sur la qualité du service et sur la couverture du coût durable du service de l'eau. Une des voies en cours de prospection serait le partenariat public privé pour développer de nouvelles formes de gestion type client fournisseur qui intègrent un troisième acteur «manager» orienté qualité de service et efficacité tout en préservant la gouvernance publique de l'eau pour assurer la durabilité des systèmes d'irrigation et l'équité dans l'accès au service de l'eau.

- de promotion de la gestion intégrée et durable des ressources en eau notamment à travers l'application du principe préleveur pollueur payeur pour protéger les ressources en eau contre la surexploitation, la pollution et le gaspillage et asseoir une véritable politique hydraulique harmonieuse.

- la maîtrise de l'impact de l'irrigation sur l'environnement; Le développement durable des systèmes d'irrigation requiert la mise en oeuvre de mesures appropriées pour la protection des ressources naturelles des périmètres irrigués contre les effets négatifs des

mauvaises pratiques d'irrigation. Dans plusieurs zones irriguées des signes préoccupants de dégradation de la qualité des ressources en eau et en sol commencent à apparaître (salinisation des sols, pollution des eaux souterraines, surexploitation des nappes d'eau...) Ces effets, s'ils ne sont pas maîtrisés, risquent à terme de compromettre la mise en valeur agricole dans ces périmètres. Il est donc d'un intérêt tout particulier que l'impact de l'irrigation fasse l'objet d'un suivi permanent permettant de disposer d'une bonne connaissance de l'état de l'environnement et des ressources naturelles pour anticiper certains risques de détérioration et préparer au mieux les actions pour les contrecarrer. L'action dans ce sens, doit porter dans une première étape sur la généralisation de la mise en place d'observatoires pour le suivi des ressources naturelles au niveau des principales zones irriguées.

### 3. LA VALORISATION DE L'EAU D'IRRIGATION: DES MARGES DE PROGRES CONSIDERABLES

#### L'exemple du périmètre du Loukkos :

Les récents résultats du projet TCP/FAO-Loukkos d'appui à

#### - Culture de pomme de terre

Technique d'irrigation	Marge brute en Dh[1]/ha	Consommation d'eau en m3/ha	Productivité en Tonne/ha	Productivité de l'eau Kg/m3	Valorisation de l'eau Dh/m3	Part charges eau dans charges variables
-Témoin : Aspersions classique (1)	8.200	6.400	32	5	<b>0,78</b>	12,90%
-Localisé (2)	12.980	3.300	54	17	<b>3,26</b>	4,30%
<b>Rapport (2)/ (1)</b>	<b>1,58</b>	<b>0,51</b>	<b>1,69</b>	<b>3,4</b>	<b>4,18</b>	<b>0,33</b>

#### - Culture d'arachide

Technique d'irrigation	Marge brute en Dh[2]/ha	Consommation d'eau en m3/ha	Productivité en Tonne/ha	Productivité de l'eau Kg/m3	Valorisation de l'eau Dh/m3	Part charges eau dans les charges variables
-Témoin : Aspersions classique	12.200	7.500	40	0,53	<b>1,17</b>	21%
-Localisé	12.950	7.000	48	0,68	<b>1,39</b>	17%
<b>Rapport (2)/ (1)</b>	<b>1,06</b>	<b>0,93</b>	<b>1,2</b>	<b>1,28</b>	<b>1,19</b>	<b>0,81</b>

[1] Dh=Dirham= près de 0,10 US\$

[2] Dh=Dirham= près de 0,10 US\$

l'appropriation des techniques d'économie d'eau à la parcelle dans le périmètre du Loukkos réalisé en 2000, donnent des indications fort intéressantes sur les marges de progrès possibles en matière d'amélioration de la productivité et de la valorisation de l'eau. Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous sont obtenus par la conversion des systèmes aspersionnels en irrigation localisée auprès d'un échantillon d'exploitations agricoles : L'introduction de l'irrigation localisée se traduit non seulement par des économies d'eau (évaluées à près de 50 % d'économie sur la culture de pomme de terre et 7% pour l'arachide) mais surtout par une amélioration de la productivité et la valorisation du m<sup>3</sup> d'eau qui sont multipliées respectivement par un coefficient de 3.4 à 4.18 fois pour la pomme de terre et un coefficient de 1.19 à 1.28 fois pour l'arachide.

L'introduction de l'irrigation localisée réduit également la part des charges de l'eau dans les charges de production. Ce résultat montre que la reconversion à l'irrigation localisée est un levier efficace pour réduire l'impact des augmentations inéluctables des tarifs de l'eau sur les marges des agriculteurs et donne ainsi aux décideurs plus de marge de manœuvre en matière d'augmentation des tarifs de l'eau pour couvrir le coût durable du service de l'eau d'irrigation.

Ces résultats dans leur ensemble, montrent que des gisements d'économie d'eau sont possibles non seulement dans les gains d'efficacité hydraulique (correspondant aux volumes d'eau pouvant être en partie récupérés) mais surtout dans les gains de productivité agronomique et de valorisation économique dont l'effet multiplicateur est largement plus important l'effet «économie d'eau physique» proprement dit.

En conclusion le levier de la modernisation des techniques d'irrigation offre de véritables opportunités à l'agriculture irriguée pour relever les défis de la durabilité et de la compétitivité.

Possibilités d'économie d'eau avec le recours à l'irrigation localisée

### Structure de la demande en eau dans les périmètres de grande hydraulique

Type de plantation	% de la superficie irriguée	% de la demande
Plantations	19	39
Maraîchage	7	7
Céréales	40	19
Cultures industrielles	18	17
Fourrages	10	15
Autres	6	3
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

### Superficie à aménager en irrigation localisée et coûts des aménagements

ZONE	Superficie à équiper en irrigation localisée (en ha)	Coût du programme (en 10 6 DH)	Economies d'eau attendues à terme (en 10 6 m <sup>3</sup> /an)
<b>1- ORMVA</b>			
<b>Moulouya</b>	18.000	900	60
<b>Loukkos</b>	9.500	290	30
<b>Tadla</b>	5.000	150	20
<b>Haouz</b>	20.000	600	60
<b>Souss-Massa</b>	23.000	690	70
<b>Gharb(Beht)</b>	14.000	420	40
<b>S/Total ORMVA</b>	<b>89.500</b>	<b>3.050</b>	<b>280</b>
<b>2- Hors ORMVA</b>	25.000	750	80
<b>Total Général</b>	<b>114.500</b>	<b>3.800</b>	<b>360</b>

Les plus grands gisements d'économie d'eau dans les zones irriguées, peuvent être exploitées moyennant la promotion au niveau des exploitations agricoles des techniques modernes d'irrigation. A cet égard, le recours à l'irrigation localisée constitue une voie privilégiée pour l'économie de l'eau, notamment pour l'irrigation des cultures maraîchères et les plantations qui se prêtent mieux à l'irrigation par cette technique.

Les références nationales et internationales montrent que les apports de l'irrigation localisée, résident non seulement dans les économies d'eau qu'elle permet, mais également dans l'amélioration substantielle de la productivité des cultures et la qualité des productions.

En considérant les possibilités de conversion des systèmes d'irrigation existants en irrigation localisée évaluées à près de 115 000 hectares, les volumes d'eau pouvant être économisés à moyen terme en adoptant cette technique est de 360 millions de m<sup>3</sup>. L'investissement requis pour la concrétisation de ces économies d'eau est évalué à près de 3.8 milliards de DH.

Selon l'évaluation de ce programme d'économie d'eau, les effets attendus se présentent comme suit :

- Une meilleure allocation des ressources financières. En effet, le coût du mètre cube d'eau économisée varie selon les régions entre 34 à 100% du coût nécessaire

au développement de nouvelles ressources en eau ;

- Une rentabilité économique pour la collectivité. La valeur ajoutée additionnelle générée par le programme d'économie d'eau estimée à 650 Millions de DH par an et un rapport bénéfices/coûts du programme supérieur à 130%;
- Un impact positif sur la création d'emploi (160.200 JT d'ingénieurs et de techniciens, 4 Millions de journées de travail durant les travaux);
- Un impact positif sur l'environnement (maîtrise du lessivage des engrais, réduction de la surexploitation des nappes, etc);
- Un impact positif sur les marges dégagées par les cultures. La marge brute additionnelle est de 6.000 DH/ha pour les plantations et de 4.800 DH/ha pour le maraîchage.

Pour l'agriculteur, les marges dégagées par le programme l'économie d'eau permettent à peine de couvrir les charges financières de l'investissement. Si l'on considère, en plus de l'effort d'investissement, les risques inhérents aux projets d'irrigation localisée en tant qu'innovation technique pour l'agriculteur, ceci explique le peu d'attractivité que prétendent ces projets pour plusieurs catégories d'agriculteurs en l'absence d'incitations financières conséquentes de l'État.

En effet, force est de constater que malgré les avantages certains que présente l'irrigation localisée, son adoption par les agriculteurs est restée jusqu'à présent peu développée en comparaison avec les pays dont le contexte hydraulique est comparable à celui du Maroc.

Ce retard s'explique principalement par :

- la faible capacité des agriculteurs à faire face au financement des investissements nécessaires à l'équipement de leurs exploitations en systèmes d'irrigation localisée. En effet le coût d'investissement de la première installation d'un système d'irrigation localisée est de l'ordre

de 20.000 voire 50.000 Dirhams (2 500 à 6 000 dollars US) par hectare, en cas de recours aux bassins de stockage d'eau;

- La faiblesse des incitations accordées par l'État pour l'encouragement des agriculteurs à adopter les techniques d'irrigation localisée. En effet, les subventions et primes à l'investissement accordés dans le cadre du Fonds de Développement Agricole ne dépassent pas 20 % du coût global des équipements d'irrigation localisée et les retards constatés dans le déblocage des subventions leurs font perdre tout leur caractère incitatif ;
- Les difficultés d'accès au crédit pour le financement des investissements pour de nombreuses catégories d'agriculteurs, constituent également un goulot d'étranglement pour le développement de cette technique. En effet, les garanties exigées par les banques ne peuvent être constituées par certaines catégories d'agriculteurs en raison du niveau de leur endettement ou de l'impossibilité d'hypothéquer leurs biens (cas des locataires, des bénéficiaires des coopératives de la réforme agraire, des ayants-droits des terres collectives et des usufruitiers des terres Guich), mais également en raison du faible recours aux mécanismes novateurs en matière de garantie des prêts (Fonds mutualistes de garantie, avances sur production);
- Les taux d'intérêt pratiqués (11 à 12 %) sont jugés élevés et constituent un frein au développement de l'irrigation localisée ;
- La rigidité du tour d'eau dans certains périmètres d'irrigation, où le recours à la nappe est rendu difficile pour des raisons de surexploitation ou de la qualité de la ressource (Cas de la Moulouya, du Souss-Massa etc), impose le recours aux bassins de stockage d'eau qui grèvent les coûts d'équipement et par conséquent la rentabilité financière des projets (le coût du bassin de stockage d'eau varie de 30 à 50.000 Dh/ha dans le périmètre de la basse Moulouya, en raison du tour d'eau contraignant imposé par le

réseau public d'irrigation, pouvant atteindre 10 à 20 jours en période de pointe;

- L'insuffisance des actions entreprises en matière de diffusion et de vulgarisation des techniques d'irrigation localisée et l'absence d'un service conseil rapproché et ciblé sur les techniques d'irrigation économes en eau.

#### **4. POLITIQUE D'INCITATION DE L'ÉTAT POUR LA PROMOTION DES TECHNIQUES D'IRRIGATION ÉCONOMES EN EAU**

*De la subvention à travers l'eau à l'incitation à l'économie d'eau*

Malgré l'intérêt de l'économie d'eau d'irrigation au niveau des exploitations agricoles tant pour les agriculteurs que pour l'État, le développement des techniques d'économie d'eau reste limité par les capacités d'investissement des agriculteurs et la rentabilité financière de la reconversion d'un mode d'irrigation moins efficient à un autre plus efficient. Le tarif de l'eau est un facteur déterminant dans la prise de décision par l'agriculteur d'investir ou pas dans l'économie d'eau. Le maintien d'un bas tarif de l'eau peut constituer un frein à l'investissement dans des techniques d'irrigation plus économes en eau en raison de la faiblesse des gains financiers attendus de la reconversion aux techniques économes en eau quand les tarifs de l'eau sont bas. C'est ainsi, qu'une politique de maintien de bas tarifs de l'eau d'irrigation pour des raisons de politique agricole (Subvention à travers le tarif de l'eau de certaines productions stratégiques peu rentables pour les agriculteurs) peut être antinomique avec une politique d'économie d'eau et d'amélioration de sa valorisation. De ce fait, le passage d'une politique de subvention à travers l'eau à une politique d'incitation à l'économie d'eau doit être accompagné d'une augmentation progressive des tarifs de l'eau (incitation coercitive à l'économie d'eau) et d'une promotion des techniques d'irrigation économes en

eau par l'octroi d'aides financières (incitation positive pour l'économie d'eau).

*Un nouveau dispositif d'incitation plus ciblé*

Le système d'incitation à l'aménagement des propriétés agricoles pour l'irrigation, actuellement en vigueur, est basé sur l'octroi d'aides financières directes et indirectes aux agriculteurs qui réalisent des équipements ou des projets d'irrigation.

#### Des aides financières indirectes

Ces aides indirectes consistent en l'exonération des droits et taxes pour l'importation de certains équipements et matériels destinés à la réalisation de travaux pour l'irrigation. Ces équipements et matériels ne sont soumis qu'aux droits minimums à l'importation (2.5 %).

En vertu de ce dispositif, les matériels pouvant bénéficier de l'exonération des droits et taxes à l'importation se présentent comme suit (voir tableau):

#### Des aides financières directes

Les aides financières que l'Etat apporte directement aux agriculteurs pour l'aménagement de leurs propriétés agricoles peuvent être servies selon trois régimes :

#### Régime des subventions pour l'équipement hydro-agricole des exploitations agricoles.

Ce régime, mis en œuvre depuis le 24 juillet 1986, est basé sur les dispositions de l'arrêté n° 1305-83 du 1er février 1985 tel qu'il a été modifié et complété.

Selon ce régime, les aménagements et équipements éligibles aux aides financières de l'Etat se présentent comme suit :

Le nouveau régime de subvention pour les projets d'irrigation localisée ou de complément

Depuis 2002, un nouveau dispositif d'incitation plus ciblé sur les projets d'irrigation localisée ou de complément est mis en place. Il vise la promotion des techniques d'irrigation

Matériels	Références des textes autorisant l'exonération
· Matériel d'irrigation localisée · Abris pour serre	Décret n° 2-83-605 du 29 juillet 1983
· Matériels de forage et de sondage	Décret n° 2-84-835 du 28 décembre 1983
· Moteurs à combustion interne · Pompes à axe vertical · Pompes immergées	Arrêté n° 965-83 du 2 août 1983
· Asperseurs et pivots mobiles	Arrêté n° 497-82 du 17 avril 1982

Opération	Taux de subvention
· Creusement de puits	30%
· Irrigation localisée : rampes, portes rampes, distributeurs et accessoires	30%
· Irrigation par aspersion : bornes d'irrigation, antennes, rampes, portes rampes et asperseurs (y compris les accessoires).	10%

· Aménagement des exploitations agricoles en irrigation localisée	:	2.000Dh/ha aménagé
· Aménagement en irrigation par aspersion des exploitations agricoles situées dans les secteurs C3 du Gharb, Tnine Gharbia et Zemamra du périmètre des Doukkala, Gare du périmètre de la Molouya, M'hazem et Aït Amira du périmètre du Souss-Massa et Drader, R'mel et basses-collines du Loukkos	:	650 Dh/ha aménagé
· Travaux de nivellement par laser dans les périmètres du Tadla et le secteur Triffa dans le périmètre de la basse Moulouya	:	400 Dh/ha nivelé

localisée et de complément. Selon ce régime, les subventions de l'Etat peuvent être accordées aux aménagements suivants (voir tableaux ci-après):

Ce nouveau dispositif permet aux agriculteurs de bénéficier d'aides financières étendues à toutes les composantes d'un projet d'irrigation localisée notamment les équipements de fertigation et chimigation permettant de maîtriser l'eau et les apports de fertilisants facteurs critiques pour améliorer la productivité de l'eau et la qualité des produits agricoles.

L'encouragement de l'adoption des techniques modernes d'irrigation

couplées à la fertigation constitue un levier crucial utilisé par l'Etat pour relever le défi d'une agriculture irriguée plus productive plus compétitive et durable. En terme de politique d'intervention de l'Etat, il s'agit de faciliter le passage progressif d'une politique de subvention à travers les tarifs de l'eau à une politique d'incitation à l'économie de l'eau.

### Projets d'irrigation localisée

Désignation des investissements	Taux de subvention en % du coût d'investissement
- Creusement et cuvelage de puits ou de forages.	30
- Fourniture et installation des équipements de pompage de l'eau y compris les travaux de génie civil et les constructions d'abris pour stations de pompage.	30
- Construction de bassins pour le stockage de l'eau d'irrigation.	30 ou 40 (*)
- Fourniture et installation de matériels de filtration de l'eau d'irrigation, de <b>fertigation et de chimigation</b> y compris construction d'abris.	30 ou 40 (*)
- Fourniture et pose des conduites d'amenée et de distribution de l'eau d'irrigation, y compris les accessoires de raccordement et appareillages de contrôle et de régulation.	30 ou 40 (*)
- Fourniture et pose de tuyaux porteurs des distributeurs d'eau d'irrigation.	30 ou 40 (*)
- Fourniture et pose des distributeurs d'eau.	30 ou 40 (*)

(\*) Pour les propriétés agricoles situées dans les bassins hydrauliques fictifs, le taux de subvention est de 40% et 30% pour les autres bassins.

### Projets d'irrigation de complément

Désignation des investissements	Taux de subvention en %
- Creusement et cuvelage de puits ou de forages	30
- Fourniture et installation des équipements de pompage de l'eau y compris travaux de génie civil et les constructions d'abris pour stations de pompage	30
- Construction de bassins pour le stockage de l'eau d'irrigation.	30
- Fourniture et installation de matériels de filtration de l'eau d'irrigation	30
- Fourniture et pose des conduites d'amenée et de distribution de l'eau d'irrigation, y compris les accessoires de raccordement et appareillages de contrôle et de régulation	30
- Fourniture et pose des asperseurs, des pivots, des rampes frontales, des enrouleurs ou tout système similaire.	30

# DEVELOPPEMENT ET PRATIQUE DE LA FERTIGATION DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DU TADLA

F.Z. Cherkaoui<sup>1</sup>, A. El Iamani<sup>1</sup>, L. El Mansouri<sup>1</sup>

## Résumé

Depuis sa mise en eau dans les années quarante, le périmètre irrigué du Tadla reste dominé par l'irrigation gravitaire. La valorisation de l'eau d'irrigation, qui devient de plus en plus rare, exige l'amélioration des rendements et de la qualité des produits agricoles, ce qui impose l'optimisation de la conduite des cultures. Avec le recours à l'irrigation fertilisante, l'alimentation hydrominérale de la plante devrait être mieux maîtrisée. Ainsi, la fertigation permet une meilleure efficacité d'utilisation des engrais.

Dans le périmètre du Tadla, la première parcelle équipée en système d'irrigation localisée a été installée en 1986. Cependant, l'extension de ce système n'a été marquée qu'à partir de 1996. En dix ans, les superficies équipées par le système d'irrigation localisé ont été multipliées par douze.

Actuellement, 5.500 ha (5.7 % de la superficie totale irriguée) sont équipés en irrigation localisée, dont 90 % de cette superficie conduite sous fertigation. Le bond enregistré durant la campagne 2002-03 (plus de 2000 ha) est le résultat du programme national d'économie d'eau et des subventions offertes par l'Etat pour la reconversion ou l'équipement des parcelles en système d'irrigation goutte à goutte. Toutes les cultures fertiguées sont pratiquées en plein champ, à l'exception de 30 ha de melon qui sont conduits sous tunnel nantais.

Une première évaluation de ce système de culture a montré qu'en pratiquant la fertigation, les apports d'engrais ont été réduits de 30% en moyenne. Ses avantages sont très nombreux, mais son potentiel ne peut être atteint que moyennant une conception, une gestion et un entretien continu du système.

L'ORMVA du Tadla déploie un grand effort en matière de vulgarisation des techniques de fertigation. Il assure l'encadrement de proximité et l'élaboration du conseil agronomique pour les agriculteurs adoptant les techniques d'irrigation localisée, en vue de rationaliser les apports d'eau et d'engrais, de faire le bon choix du type d'engrais à appliquer, du mode de fractionnement et du moment d'apport. Les engrais azotés les plus utilisés sont : le Sulfate d'ammonium, l'Urée, l'Ammonitrate et l'Acide nitrique. Pour le potassium, il est appliqué sous forme de Sulfate de potassium et de Nitrate de potassium. Quant au phosphore, il est généralement apporté sous forme de mono ammonium phosphate ou d'acide phosphorique.

La pratique de la fertigation a permis aux agriculteurs de mieux gérer les apports d'engrais, notamment le potassium. L'adéquation des apports de potassium aux besoins de la plante permet l'amélioration des rendements et la qualité de la production. Les cultures concernées par ce système d'irrigation sont principalement les agrumes, les rosacées et le maraîchage.

## 1. INTRODUCTION

Au Maroc, les conditions naturelles ont fait de l'irrigation un impératif technique incontournable qui a acquis des dimensions économiques et sociales indéniables. L'irrigation est aussi devenue une voie privilégiée du développement agricole et bénéficie d'une attention particulière des pouvoirs publics. Par ailleurs, il a été jugé nécessaire de gérer, de manière rationnelle, les ressources en eau du pays dans le but de protéger et capitaliser les investissements réalisés

dans le cadre des projets d'irrigation.

Si l'irrigation contribue à l'amélioration des rendements et de la qualité de la production, son extension est toujours accompagnée de sérieuses menaces sur la qualité des ressources en eau et en sol. La gestion quantitative et qualitative de ces ressources revêt une importance capitale dans la durabilité du système de production.

Au niveau du périmètre irrigué du Tadla, qui est l'un des plus anciens périmètres aménagés par l'Etat, la gestion rationnelle des ressources en

eau est assurée par la mise en place d'une stratégie, qui s'insère dans le cadre du programme national d'économie d'eau. Parmi les actions entreprises, il faut noter :

- L'amélioration de la gestion du système d'irrigation ;
- Le renforcement de la maintenance du réseau d'irrigation ;
- L'introduction de nouvelles techniques d'irrigation à économie d'eau ;
- L'implication des usagers dans la gestion de l'eau ;

1. Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla - MAROC

- Le renforcement de la viabilité de l'environnement ;
- L'encouragement de la recherche en matière d'économie d'eau.

L'introduction des techniques d'irrigation localisée dans le périmètre par le biais de démonstrations chez les agriculteurs a permis :

- Une réduction substantielle des consommations d'eau allant de 20 à 30% ;
- Une augmentation de 30 % des rendements.

La pratique de la fertigation, qui consiste à injecter les éléments fertilisants par l'intermédiaire du réseau d'irrigation localisée, a permis :

- une économie en intrant et en main d'œuvre de 10 à 50 % ;
- Préservation des ressources en eau.

Pour encourager les agriculteurs à adopter les techniques d'irrigation à économie d'eau, l'État a instauré des subventions très incitatives dont les montants sont fixés de 30 à 40 % du coût de l'opération, en fonction de la localisation des aménagements et de la nature des opérations. Toutefois, ces montants sont plafonnés à 12.000,00 DH par hectare aménagé. Ce plafond peut être porté à 23.000,00 DH en cas de nécessité de recours à la construction de bassins pour le stockage de l'eau d'irrigation, pour s'affranchir du tour d'eau à l'intérieur du périmètre irrigué.

## 2. PRESENTATION DU PERIMETRE IRRIGUE DU TADLA

### 2.1. Situation géographique

Le périmètre irrigué du Tadla est situé à 250 Km au Sud Est de Rabat et à une altitude moyenne de 400 m. La plaine du Tadla est limitée au Nord par le plateau des phosphates, à l'Est se rétrécit entre le plateau d'Oued-Zem et la retombée Atlasique, à l'Ouest, l'oued El Abid est pris comme limite régionale et hydrogéologique avec la Bahira et au Sud, elle est limitée par la chaîne montagneuse du moyen Atlas. Le périmètre irrigué est traversé par l'oued Oum Er Rbia et se trouve ainsi divisé en deux sous-périmètres de

superficie inégale qui offrent des caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques différentes (figure 1) :

- Béni Amir en rive droite d'une superficie de 27.000 Ha irrigués par les eaux régularisées du barrage Ahmed El Hansali (800 Millions de m<sup>3</sup> de capacité) sur l'oued Oum Rbia;
- Béni Moussa en rive gauche d'une superficie de 69.500 Ha irrigués par les eaux régularisées du barrage Bin El Ouidane (1.5 Milliards de m<sup>3</sup> de capacité) sur l'oued El Abid.

### 2.2. Climat

Le climat de la région est de type méditerranéen, aride à semi-aride à caractère continental, avec une saison sèche d'avril à octobre, et une saison pluvieuse de novembre à mars. La pluviométrie moyenne annuelle est de 350 mm avec une forte variation dans le temps et dans l'espace. L'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de 1.800 mm.

Les températures connaissent des variations saisonnières très importantes avec un maximum en août de 40 °C et un minimum en janvier de 3 °C.

### 2.3. Sols

Les principaux types de sol du périmètre sont représentés par les formations suivantes:

- Sols isohumiques, qui représentent la majorité des sols du périmètre (83%), ils comprennent:

- sols bruns subtropicaux modaux ;
- sols bruns subtropicaux salins et salsodiques ;
- sols châtaîns modaux ;
- Sols calcimagnésiques comprenant les sols bruns calcaires (11%) et les rendziniiformes. ;
- Sols ferralitiques à sesquioxydes de fer ;
- Sols hydromorphes et sols peu évolués.

### 2.4. Hydrologie

Le principal cours d'eau dans la région du Tadla est l'oued Oum Er Rbia, issu des hauts plateaux du moyen Atlas. Son débit moyen est 38.6 m<sup>3</sup>/s avec un maximum de 1700 m<sup>3</sup>/s et un minimum de 10 m<sup>3</sup>/s. Les eaux de l'oued Oum Er Rbia sont relativement salées, avec un résidu sec de 1 700 mg/l, en raison de leur origine. Par contre, l'oued El Abid véhicule des eaux de bonne qualité chimique avec un résidu sec de 300 mg/l.

### 2.5. Hydrogéologie

Les structures et les caractères diversifiés des formations géologiques de la plaine du Tadla ont donné



Figure 1 : Périmètre irrigué du Tadla

naissance à une succession de couches aquifères d'importance hydraulique variable et présentant des contrastes de perméabilités entre niveaux. Les principales nappes dans la région du Tadla sont :

- Nappe phréatique circulant dans des formations Plio-Quaternaires;
- Nappe des calcaires de l'Eocène ;
- Nappe des calcaires Turoniens.

### 2.6. Aménagements hydro agricole

Les travaux d'aménagement ont été entamés en 1929 dans les Béni Amir, et la mise en eau des premiers secteurs remonte à 1938. Au Béni Moussa, les travaux d'aménagement ont commencé en 1949 et la première mise en eau fut réalisée en 1954.

Le périmètre irrigué du Tadla couvre une superficie irriguée d'environ 124.600 ha répartie entre la grande hydraulique, PMH (Petite et Moyenne Hydraulique), le pompage diffus, et les Centres Pivot (figure 2). Le mode d'irrigation dans le Tadla est essentiellement gravitaire. Cependant, il existe d'autres systèmes d'irrigation dont l'irrigation par centre pivot et l'irrigation localisée.

### 2.7. Mise en valeur agricole

Depuis la création du périmètre irrigué du Tadla, l'activité économique ne cesse de se développer. En effet l'introduction de l'irrigation a fait révolutionner un mode de vie

ancestral basé sur une agriculture extensive soumise aux aléas d'une pluviométrie insuffisante et irrégulière. Des méthodes modernes de production ont été introduites, des cultures industrielles, arboricoles et maraîchères ont été développées.

Une industrie de transformation des produits agricoles a été installée et elle est en voie d'expansion, ainsi on peut citer les unités suivantes: sucreries et raffineries, huileries, usines d'égrènage du coton, tanneries, unités de transformation d'aliment de bétail, conditionnement etc.

## 3. CONCEPTION ET EQUIPEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION LOCALISEE

### 3.1. Conception du système

Le dimensionnement d'un système d'irrigation fertilisante nécessite la réalisation d'une étude préliminaire pour connaître la taille et la forme de la surface à irriguer, sa topographie, son type du sol, en plus des ressources d'eau disponibles et leurs caractéristiques. Les données climatiques de la région environnant le domaine à irriguer doivent être connues pour estimer les besoins en eau des cultures à installer.

### 3.2. Equipement du système

#### 3.2.1. Système d'irrigation

Les systèmes de micro-irrigation sont définis comme étant des systèmes à

pression qui livrent directement l'eau aux plantes, par le biais d'un ensemble d'équipements de régulation du débit d'eau, tels les goutteurs et les micro-jets. Les besoins en eau dépendent de différents facteurs : précipitations, sols, cultures, matériel utilisé, etc.

L'installation complète comprend, en plus du point d'eau, une pompe de refoulement (centrifuge, à axe vertical, immergée), un système de filtration (à sable, à tamis, à disques), une conduite d'amenée jusqu'en tête de parcelle (de différents diamètres), dont le porte-rampes, et enfin des rampes en polyéthylène avec distributeurs pour l'arrosage (CEMAGREF, 1992 ; Ctifl, 1990).

#### 3.2.2. Système de fertigation

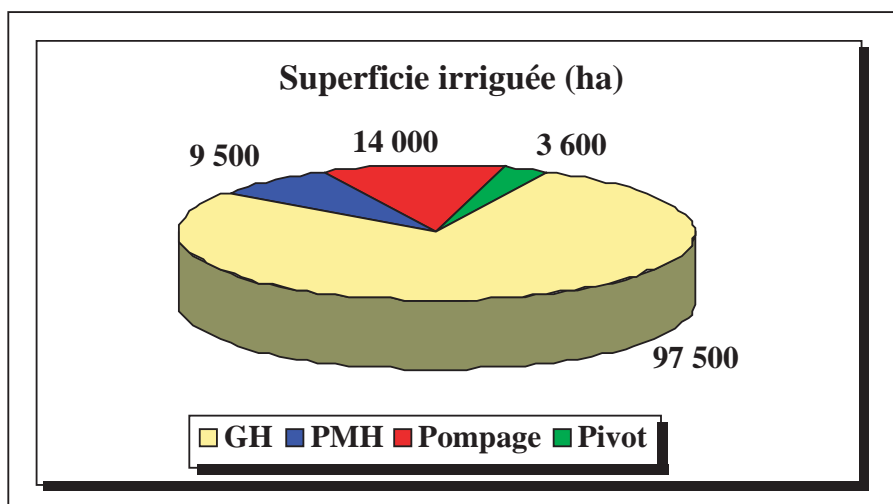
Le réseau d'irrigation localisée peut être utilisé pour distribuer l'engrais aux cultures, grâce à un injecteur d'engrais, le matériel d'injection utilisé est soit la pompe doseuse hydraulique, la pompe doseuse électrique ou l'injecteur de type venturi permettant l'injection de l'engrais par différentiel de pression. L'apport d'engrais bénéficie donc des avantages de la micro irrigation :

- Intervention possible à tout moment, ce qui permet la correction des carences même au cours du cycle ;
- Localisation des apports à proximité des racines ;
- Meilleur contrôle des quantités apportées, ce qui limite les pertes par lessivage, par fixation ou par rétrogradation et accroît l'efficacité des engrais.

### 3.3. Avantages de la fertigation

Les avantages de la fertigation sont très nombreux, mais son potentiel ne peut être atteint que moyennant une conception, une gestion et un entretien continu du système. Parmi ces avantages on peut citer :

- Augmentation du rendement ;
- Amélioration de la qualité de production ;
- Diminution de la main d'œuvre nécessaire pour l'irrigation et la fertilisation ;
- Amélioration de l'efficacité de



**Figure 2 :** Répartition de la superficie irriguée dans le Périmètre du Tadla

l'irrigation (diminution du volume d'eau utilisée) ;

- Amélioration de l'efficacité d'utilisation des engrais par les cultures ;
- Meilleur fractionnement des apports d'engrais ;
- Application des engrais à un endroit précis du sol ;
- Correction de déficience en cours du cycle de la culture, ce qui n'est pas possible en fertilisation traditionnelle ;
- Préservation de la qualité des eaux souterraines en limitant le lessivage des sels et des nitrates ;
- Possibilité d'utiliser les terres marginales qui présentent une pente forte, une texture grossière ou à forte pierrosité.

#### 3.4. Problèmes liés à la fertigation

La micro-irrigation exige un investissement initial considérable. Elle requiert la maîtrise de nouveaux concepts, tels que l'injection de l'engrais et des acides. Elle exige également un régime de maintenance rigoureux, comprenant le nettoyage des filtres et la purge des goutteurs.

### 4. ETABLISSEMENT D'UN PROGRAMME DE FERTIGATION

Pour établir un programme de fertigation, trois méthodes peuvent être utilisées :

#### 4.1. Méthode des équilibres

Cette méthode est basée sur l'établissement des équilibres entre les éléments fertilisants (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) en fonction des exigences de la culture, sa physiologie et son stade de développement. Les équilibres sont obtenus sur la base de la fertilisation azotée (Lekchiri, 1984; Aït Houssa et Bendaha, 1987; El Khamass et al, 1998). L'azote étant le pilier, il est désigné par le chiffre 1, le phosphore est exprimé en terme de  $P_2O_5$  et le potassium en terme de  $K_2O$ . Pour le calcium et le magnésium, ils sont exprimés sous forme de  $CaO$  et  $MgO$  respectivement.

#### 4.2. Méthode des normes

Elle consiste à donner à la plante des solutions nutritives qui ont été établies sur la base des besoins en fonction des stades végétatifs. Ces solutions ont un niveau de concentration croissant en azote nitrique et ammoniacal (10, 12, 14.4 et 18 milliéquivalent par litre).

Les réserves en éléments fertilisants existant dans le sol et les quantités apportées par l'eau d'irrigation doivent être soustraites des doses préconisées.

#### 4.3. Méthode basée sur la conductivité électrique

La méthode de la conductivité électrique (CE) n'est pas nutritionnelle, mais elle sert à garder une CE adéquate pour un bon développement des plants. Cette méthode nécessite la connaissance chaque semaine de la CE du sol déterminée dans un extrait et la CE de la solution nutritive au niveau des injecteurs à l'aide d'un conductivimètre. Avec une telle méthode on peut profiter de la charge en sels de l'eau d'irrigation et du sol, ce qui permet de faire des économies en engrais. L'eau d'irrigation apporte le calcium et le magnésium, le reste est apporté sous forme d'azote, de phosphore et de potassium en respectant le rapport N/K égal à 1 ou 2, pour avoir une CE voulue. Une CE

élevée au début de la plantation stimule la fructification et la formation des racines, et à la fin améliore la qualité du fruit.

### 5. PRATIQUE DE L'IRRIGATION LOCALISEE DANS LE PERIMETRE DU TADLA

#### 5.1. Importance de la superficie équipée par le système d'irrigation localisée

Dans le périmètre du Tadla le premier système d'irrigation localisée a été installé en 1986. L'extension de ce système n'a été marquée qu'à partir de 1996. La figure 3 illustre l'évolution des superficies équipées par le système d'irrigation localisée.

La superficie équipée par ce système concerne près de 5.7 % de la superficie totale irriguée à l'échelle du périmètre, soit 5.500 ha. La superficie est très variable d'une exploitation à l'autre, elle se situe entre 1 ha et 225 ha. La moyenne est de 22 ha, avec un coefficient de variation de 70 %. La répartition de différentes classes de taille est reportée dans le tableau 1.

Les exploitations de taille moyennes sont les plus dominantes elles représentent 52 %. Au niveau de Béni Moussa Ouest 41 % des exploitations présentent une superficie supérieure 25 ha, les exploitations de faible taille (<5 ha) se localisent principalement au niveau de Béni Moussa Est.

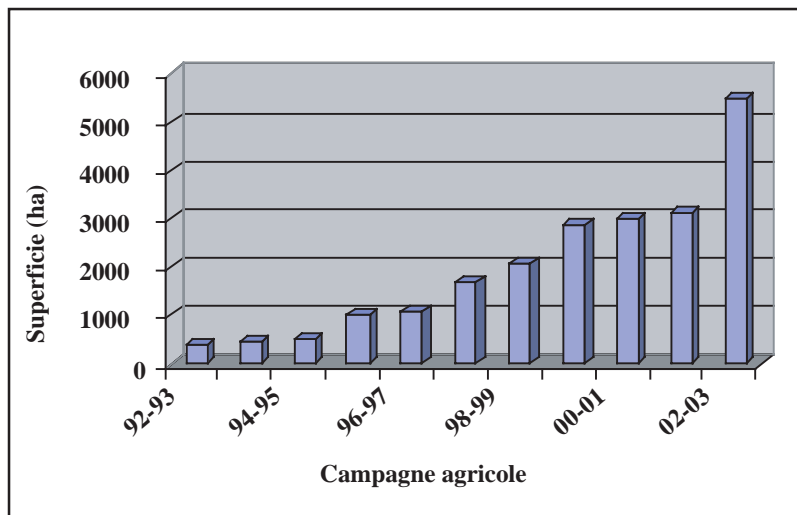


Figure 3: Evolution des superficies équipées par le système d'irrigation localisée

Les exploitations de taille moyennes sont les plus dominantes elles représentent 52 %. Au niveau de Béni Moussa Ouest 41 % des exploitations présentent une superficie supérieure 25 ha, les exploitations de faible taille (<5 ha) se localisent principalement au niveau de Béni Moussa Est.

### 5.2. Cultures concernées par l'irrigation localisée

Les cultures concernées par ce système d'irrigation sont principalement les agrumes, les rosacées et le maraîchage (figure 4).

Les agrumes constituent 78 % de la superficie totale équipée en système d'irrigation localisé. Les rosacées représentent 7 %. Pour le maraîchage, il représente 11 % de la superficie totale en plus de la superficie pratiquée en intercalaire avec les arbres fruitiers.

### 5.3. Engrais utilisés

A l'échelle du périmètre, les principaux types d'engrais utilisés en fertigation sont :

- **Engrais azotés:** Sulfate d'ammonium, Urée, Ammonitrate, Acide nitrique ;
- **Engrais phosphatés:** Mono ammonium phosphate, Acide phosphorique ;
- **Engrais potassiques:** Sulfate de potassium, Nitrate de potassium.

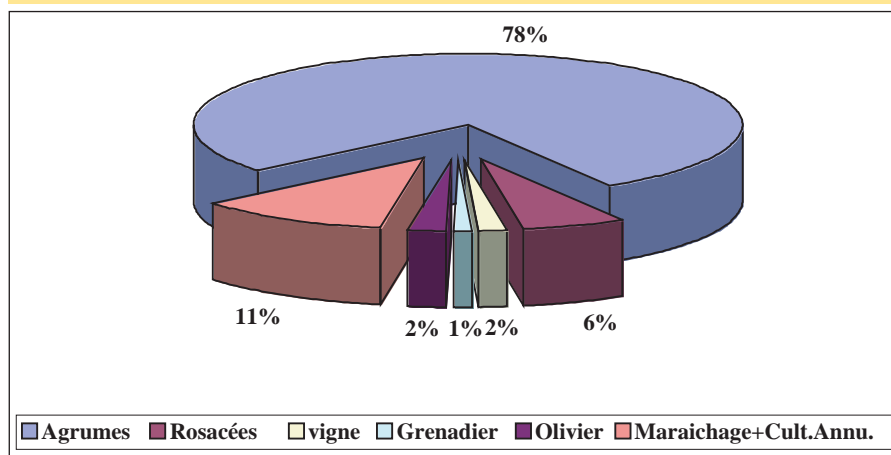
## 6. ESSAI DE FERTIGATION SUR AGRUMES

La recherche permanente de l'amélioration des rendements et de la qualité des produits, impose de tout mettre en œuvre pour optimiser au mieux la conduite des cultures. Avec le recours à l'irrigation fertilisante, on peut maîtriser l'alimentation hydrominérale de la plante.

Au niveau du périmètre du Tadla, un essai sur la conduite de la fertigation a été installé chez dix agriculteurs, dans le but de voir les pratiques des agriculteurs en matière de fertigation et l'impact sur les rendements et sur la qualité de la production. L'essai a concerné une parcelle d'un hectare par exploitation.

Taille de l'exploitation (ha)	Nombre d'exploitation	Pourcentage %
<5 ha	48	21.7
5-25 ha	115	52.0
>25 ha	58	26.2
<b>Total</b>	<b>221</b>	<b>100%</b>

**Tableau 1 :** Répartition des classes de taille des exploitations équipées par le système d'irrigation localisée



**Figure 4 :** Cultures concernées par l'irrigation localisée

### 6.1. Matériel et méthode

Les parcelles d'essai ont reçu les doses d'engrais suivantes :

- 2 quintaux d'ammonitrate ;
- 2 quintaux de MAP ;
- 2 quintaux de sulfate de potassium.

Ces doses ont été ajustées selon les résultats des analyses du sol.

Pour connaître les réserves initiales du sol en éléments fertilisants, des prélèvements d'échantillons du sol ont été effectués au niveau de chaque parcelle sur une profondeur de 40 cm. Ces échantillons ont fait l'objet d'analyse de la fertilité. Les résultats obtenus ont servi de base pour l'élaboration du programme de fertigation.

Des échantillons de la plante ont été prélevés au niveau de la pousse du printemps âgée de six mois, sur les branches non fructifères, et ont servi pour la détermination de l'azote, du phosphore et du potassium.

Une fiche d'enquête a été distribuée aux agents du terrain pour collecter les

informations relatives à la conduite de l'irrigation et de la fertigation par les agriculteurs objet de l'essai, ainsi que le suivi de l'état végétatif des arbres.

A la récolte le calibre des fruits et le rendement à l'hectare ont été déterminés.

Le traitement statistique des données a été effectué par le logiciel STATGRAPHICS. Les cartes sont élaborées par le système d'information géographique (ARCVIEW et ARCINFO).

### 6.2. Résultats et discussion

#### 6.2.1. Présentation des sites de suivi :

Les exploitations concernées par l'essai ont des superficies de 1 à 63 ha. La densité de plantation est de 238 à 500 arbres par hectare (tableau 2).

#### 6.2.2. Conduite de l'irrigation

La dose moyenne d'irrigation appliquée est de 5 900 m<sup>3</sup>/ha (tableau 3). Ce qui correspond à une réduction de la consommation en eau de 26 % par rapport à la dose des 8 000 m<sup>3</sup>/ha

Nom de l'agriculteur	CDA	Mle	Superficie Agrume (ha)	Variété	Densité Arbre/ha
EL AMRAOUI Hamid	520	8920	13.35	Clémentine	500
KHALDOUN EI Maati	522	9356	3	Maroc Late	238
AMRANI Najia	523	621	63	Navel	238
CHEBBAK Mustapha	523	333	38	Navel	500
SEHA Ouled Gnaou	524	-	1	Maroc Late	415
SERGHUCHNI Mouloud	524	BM48	21	Maroc Late	500
BELAIDI Mohamed	526	2029	7	Navel	333
BEN BAIBOUDA Abdessamed	528	804C	8.63	Navel	400
LAHMAM Kaddour	530	4088	10.8	Navel	278
MABROUK Ali	534	103	58	Sanguine	333

**Tableau 2 :** Données générales sur les parcelles d'essai.

Nom de l'agriculteur	Dose Moyenne par irrigation (m <sup>3</sup> /ha)	Nombre d'irrigation	Dose appliquée (m <sup>3</sup> /ha)
LAHMAM Kaddour	50	120	6 000
BELAIDI Mohamed	45	130	5 850
SEHA Ouled Gnaou	22	290	6 380
MABROUK Ali	40	140	5 600
AMRANI Najia	55	109	5 995
SERGHUCHNI Mouloud	21	290	6 090
CHEBBAK Mustapha	23	290	6 670
EL AMRAOUI Hamid	20	290	5 800
KHALDOUN EI Maati	38	140	5 390
BEN BAIBOUDA Abdessamed	35	150	5 250
<b>MOYENNE</b>	<b>34.9</b>	<b>195</b>	<b>5 903</b>

**Tableau 3 :** Données générales sur la conduite de l'irrigation.

appliquée couramment en irrigation gravitaire.

### 6.2.3. Analyse du sol

Les résultats des analyses (Tableau 4) révèlent que les sols sont moyennement pourvus en matière organique, en azote minéral, et en phosphore assimilable. Ils sont riches en potassium assimilable.

L'expression du rendement en fonction de l'azote minéral, du phosphore assimilable et du potassium assimilable sont reportés dans les figures 5, 6 et 7.

La réserve initiale du sol en azote minéral seul a pu expliquer 44 % de la variation du rendement. Avec l'analyse de la régression linéaire multiple intégrant les facteurs : azote minéral, phosphore assimilable et potassium assimilable, 85 % de la variabilité du rendement peut être expliquée. Les coefficients de l'équation exprimant le rendement en fonction des résultats de l'analyse de la fertilité sont relatés dans le tableau 5

### 6.2.4. Analyse foliaire

Les résultats des analyses foliaires (tableau 5) révèlent que les arbres se

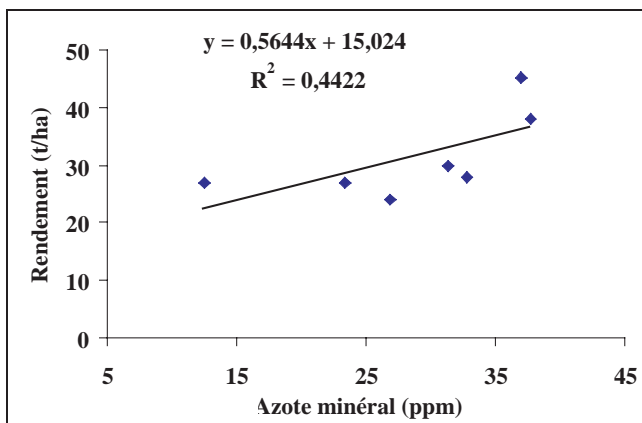
trouvaient dans des conditions optimales de croissance.

Les figures 8, 9 et 10 donnent les régressions linéaires simples du rendement en fonction des teneurs des feuilles en azote, phosphore et potassium.

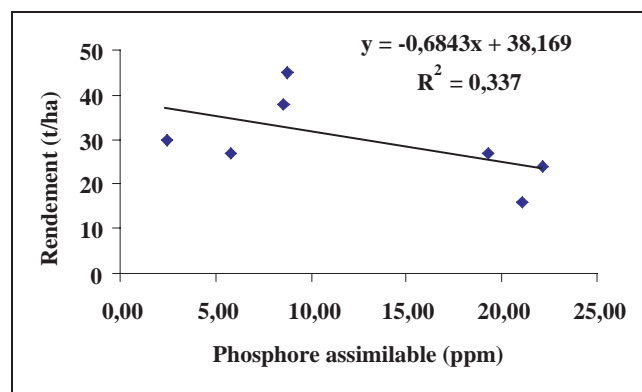
La teneur des feuilles en azote total explique 55 % de la variation du rendement. En utilisant la régression linéaire multiple 69% de la variabilité est expliquée par l'azote, le phosphore et le potassium. Les coefficients de l'équation exprimant le rendement en fonction des teneurs en NPK des

Nom de l'agriculteur	MO (%)	NO3 (ppm)	NH4 (ppm)	P assimil. (ppm)	K assimil. (ppm)
LAHMAM Kaddour	1.28	26.32	5.04	2.42	322
BELAIDI Mohamed	3.12	7.28	5.32	19.25	468
SEHA Ouled Gnaou	2.6	8.96	4.48	6.99	415
MABROUK Ali	1.31	18.76	18.2	8.77	755
AMRANI Najia	1.28	10.92	26.88	8.56	1090
SERGHOCHNI Mouloud	2.56	9.52	17.36	22.12	368
CHEBBAK Mustapha	2.22	13.44	24.64	17.16	1304
EL AMRAOUI Hamid	2.64	12.32	11.02	5.80	284
KHALDOUN El Maati	1.73	17.36	22.96	21.04	196
BEN BAIBOUDA Abdessamed	2.88	20.16	12.6	32.49	774
<b>MOYENNE</b>	<b>2.16</b>	<b>14.50</b>	<b>14.85</b>	<b>14.46</b>	<b>598</b>

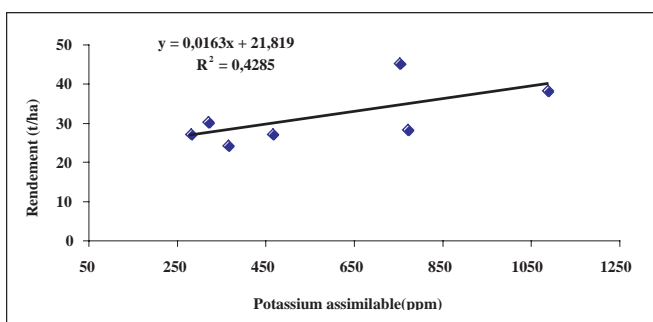
**Tableau 4 :** Résultats des analyses du sol.



**Figure 5 :** Rendement des agrumes en fonction de la teneur en azote minéral dans le sol



**Figure 6 :** Rendement des agrumes en fonction de la teneur en phosphore assimilable dans le sol.



**Figure 7 :** Rendement des agrumes en fonction de la teneur en potassium assimilable dans le sol.

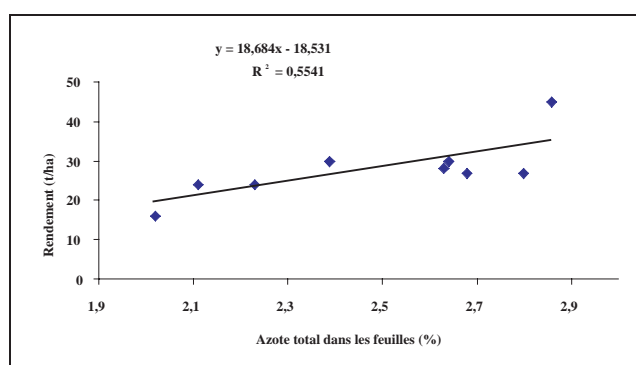
Variable dépendante : Rendement (t/ha)
Variables indépendantes : - Azote minéral - Phosphore assimilable - Potassium assimilable
Coefficient de détermination multiple : 0.85

	<i>Coefficients</i>
Constante	22.35
Azote minéral	0.17
Phosphore assimilable	-0.33
Potassium assimilable	0.02

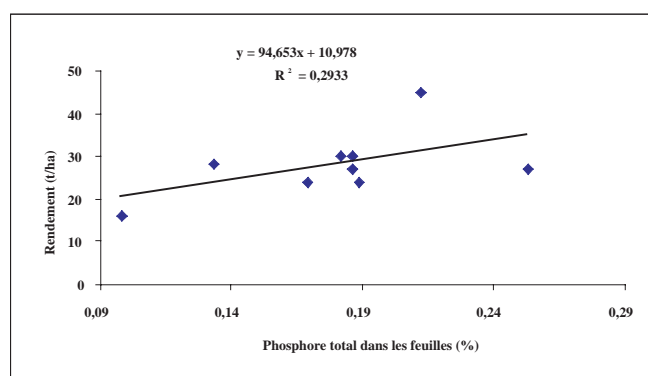
**Tableau 5:** Analyse de la régression linéaire multiple.

Nom de l'agriculteur	Azote (%)	Phosphore (%)	Potassium (%)
LAHMAM Kaddour	2.39	0.182	0.89
BELAIDI Mohamed	2.80	0.186	1.40
MABROUK Ali	2.86	0.212	0.89
AMRANI Najia	2.64	0.186	1.11
SERGHOUNI Mouloud	2.23	0.189	1.69
CHEBBAK Mustapha	2.11	0.169	1.11
EL AMRAOUI Hamid	2.68	0.253	0.89
KHALDOUN El Maati	2.02	0.098	0.23
BEN BAIBOUDA Abdessamed	2.63	0.133	1.40
<b>MOYENNE</b>	<b>2.48</b>	<b>0.179</b>	<b>1.07</b>

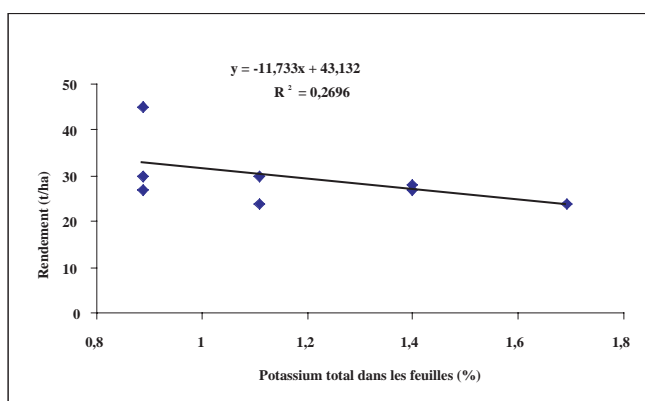
**Tableau 6 :** Résultats des analyses foliaires.



**Figure 8 :** Rendement des agrumes en fonction de la teneur en azote total des feuilles.



**Figure 9 :** Rendement des agrumes en fonction de la teneur en phosphore total des feuilles



**Figure 10 :** Rendement des agrumes en fonction de la teneur en potassium total des feuilles.

Variable dépendante : Rendement (t/ha)
Variables indépendantes : - Azote minéral - Phosphore assimilable - Potassium assimilable
Coefficient de détermination multiple : 0.85

	<i>Coefficients</i>
Constante	22.35
Azote minéral	0.17
Phosphore assimilable	-0.33
Potassium assimilable	0.02

**Tableau 7 :** Analyse de la régression linéaire multiple

feuilles sont présentés dans le tableau 7.

#### 6.2.5. Evolution des rendements

Les agrumes sont connus pour leur alternance. En faisant l'hypothèse que les résultats du tableau ci-dessous sont surtout le fait du changement du système d'irrigation et non de l'effet année, on constate globalement que les arbres équipés en goutte à goutte ont réagi durant les deux premières années par une baisse du niveau du rendement (effet signalé de longue date sur vieille plantation reconvertie en micro-irrigation) le temps que l'enracinement se réadapte au nouveau système. Le rendement augmente ensuite pour atteindre en moyenne 28.8 t/ha quatre ans après (tableau 8).

Cet effet positif net de l'irrigation localisée et de la fertigation apparaît également de façon nette. En comparant ce rendement avec le rendement moyen obtenu à l'échelle du périmètre par gravité (22.8t contre 22t/ha). ce qui correspond à une amélioration de 20 %.

## 7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le suivi des essais sur la conduite de la fertigation chez les agriculteurs a mis en relief l'effet bénéfique de la reconversion du système d'irrigation gravitaire en irrigation localisée. L'adoption de cette nouvelle technique a permis :

- Economie dans la consommation en eau d'irrigation qui est de 26 % ;
- Réduction des apports d'engrais de 20 % ;
- Amélioration du calibre des fruits selon les déclarations des agriculteurs ;
- Augmentation du rendement de 29 %.

A la lumière des résultats de cette expérience on recommande de :

- Reconduire des essais analogues sur les autres cultures pratiquées dans le périmètre ;
- Sensibiliser les agriculteurs sur l'intérêt des analyses de sol et des feuilles dans l'élaboration du plan de fertigation ;
- Assurer un encadrement continu des agriculteurs adoptant cette technique.

### Références bibliographiques

- CEMAGREF, 1992 : Irrigation : guide pratique. 2ème éd. 284p.
- Ctifl, 1990 : L'irrigation des arbres fruitiers. 22, rue Bergère 75009 Paris. 255p.
- Aït Houssa A. et Bendaha M., 1987 : Etude de la solubilité des engrais ordinaires pour application pratique en irrigation fertilisante sur une culture de bananier sous serre. SASMA, note publiée.
- Lekchiri A., 1984 : Problématique de la fertilisation des cultures conduites en micro-irrigation. Note ing. SASMA n° 447.
- El Khamass M., Oulahcen B., et Lekchiri A. 1998 : L'irrigation fertilisante des agrumes et l'utilisation des engrais ordinaires. Nouveaux Acquis de la Recherche en Agrumiculture. Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Agadir, Maroc. pp. 181-192.

Noms des agriculteurs	Rendements (t/ha)				
	99/00	00/01	1-fév	2-mars	3-avr
LAHMAM Kaddour	21	20	24	21	30
BELAIDI Mohamed	22	18	19	24	27
MABROUK Ali	25	25	18	28	45
AMRANI Najia	33	34	32	32	38
SERGHOUNI Mouloud	20	23	24	25	24
CHEBBAK Mustapha	22	24	23	20	24
EL AMRAOUI Hamid	16.5	13.2	14.85	23.1	27
KHALDOUN EL Maati	8	9	9	10	16
BEN BAIBOUDA Abdessamed	16.6	9	11	24	28
<b>Moyenne</b>	<b>20.46</b>	<b>19.47</b>	<b>19.43</b>	<b>23.01</b>	<b>28.78</b>

# CONTRIBUTION OF FERTILIZER APPLICATION (FERTIGATION) TO IMPROVE TOMATO CROP PRODUCTION IN THE SOUSS-MASSA REGION

A. El Fadl<sup>1</sup>

## ABSTRACT

*Intensification of vegetable crop systems in the Souss-Massa has resulted in high qualitative and quantitative production. As a matter of fact, huge efforts have been deployed to reach high levels of productivity. Fertigation is among the techniques that have largely contributed to yield and fruit quality improvement. In 2004, the area presently under fertigation in Souss-Massa region is about 37500 ha (vegetables: 25000 ha; citrus: 9000 ha; banana: 3500 ha). Potassium supply is at least twice that of nitrogen. Nowadays the main crops (especially tomato) rarely show any K deficiency. However, fertilizer mismanagement is noticeable at certain periods of the year. This work (i) establishes a qualitative analysis linking potassium fertilization with environmental conditions (ii) presents some research results and (iii) suggests some practical recommendations aiming to optimize fertigation.*

## 1. INTRODUCTION

During the last 20 years fertilizing irrigation (commonly called "fertigation") has known an outburst in the Souss-Massa region. Vegetable crop production farms equipped with a fertilizer injecting systems actually sum up to 25.000 ha whilst there were only 300 ha in 1990-1991. Citrus and bananas are the main other crops that use such a technology with 9.000 and 3.500 ha respectively.

Fertigation is in fact among other techniques that contributed to improve the productivity of vegetable crops. In addition to favorable climatic conditions, the use of greenhouses, the general utilization of drip irrigation –at least for protected crops-, the use of highly productive varieties, the increasing use of grafted seedlings and the good plant protection practices as well as the improved crop maintenance are factors that enabled the increase in yield. Technical supervision is improved. The export sector has been a real incentive towards the development of winter crops. Some figures illustrate the tendency: 191.045 tons of tomatoes were exported in 2003-2004 compared to 165.311 tons in 2002-2003; fresh beans occupy the second place with 76.550 tons exported in 2003-2004

compared to 52.453 tons in 2002-2003; melon is the main exported fruit with 28.127 tons in 2003-2004 (EACCE, 2004).

This paper is meant to present some problems related to the management of tomato crop fertigation. This will be done through the presentation of the results of a study conducted in 3 farms located in the Massa irrigated perimeter (Lakloui et Merzouk, 1999). This qualitative approach will show the principal patterns observed in performing farms producing exportable crops. Other research results obtained at the IAV Hassan II, Agadir will also be presented as well as the efforts deployed by the professionals of the sector in order to optimize fertilizer application through irrigation.

## 2. FERTIGATION OF TOMATO

The study was carried out in 3 vegetable crop production farms in the Massa. In these farms, called n°1, 2 and 3 respectively, the area of greenhouse tomato was 7.3 and 3.2 ha respectively.

**2.1. Production conditions:** in the 3 farms, sowing was done in mid August and the crop was established under greenhouse during the first week of

September. "Gabriella" is the name of the variety. It is an F1 hybrid known to be vigorous, highly productive and resistant to N.V.K.F2. Plant density ranged from 15.000 to 18.000 plants per ha. It is a monoculture succeeding to another tomato crop. Prior to planting the soil was treated with methyl bromide. Drip irrigation was applied and the planting was in single rows under plastic mulch. Plants were conducted on a single stem and preventive treatments were applied for pest control. The life cycle of the crop can be divided into 4 phases:

- I: from the planting to the forming of the first fruit bunch
- II: from end I to the harvest of the 4th fruit bunch
- III: from end II to the harvest of the 9th fruit bunch
- IV: from end III to the harvest of the 16th fruit bunch

The first fruits were observed in mid November and production continued until June.

**2.2. Crop follow-up:** fertigation was studied through regular sampling of soil and tomato petioles twice a month in each farm without interfering with their fertilizers programs. The objective was to

<sup>1</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Complexe Horticole d'Agadir

qualitatively assess the technique of fertigation in these leading farms. Soil samples were taken on a 30 cm profile at mid distance between two drippers. Ten different soil samplings constituted a sample. Petioles were taken on the 5th leaf from the apex. One sample is composed of 25 to 30 petioles. Parallel to soil and petiole sampling, tomatoes harvested were regularly weighed.

**2.3. Initial status of the soil and water quality:** in the studied farms, the soil has a sandy texture, fine sand representing on average 61%; coarse sand 27%, silt 9% and clay 3%. At the end of the preceding crop greenhouses were cleaned and the soil treated. The level of soil fertility was in general good and therefore none of the farms used slow release mineral fertilizers. Table 1 shows the fertility status of the soil in the 3 farms prior to planting.

Table 1 shows that the soil is clearly alkaline, low in nitric nitrogen but has a high concentration of ammonia. It is rich in phosphorous but low in potash. Calcium and Magnesium concentrations are very high.

Water for irrigation is supplied from the dam and from the water table with

different quality: dam water has an EC below 0.4 dS/m and water table has an EC ranging from 0.7 and 1.22 dS/m.

**2.4. Fertigation management:** Table 2 presents the timetable for the application of the major fertilizing elements, in relation with the cycle phases of the crop. Figures are average of data taken from the 3 farms. Fertigation started immediately after crop planting. Fertilizer injector is a simple Venturi. It is important to note that the supply in potash was highest since it represented almost twice as much as that of nitrogen. The first growing phase, which lasted 1 month, corresponding to the establishment of the crop, used 10% of the total supply. Over 40% of total nitrogen supply happened during the 2nd phase, which lasted 6 weeks. Phases 2 and 3 were the most demanding in terms of potassium, phosphorous and magnesium. Each phase received 1/3 of the total input in these 3 elements. Each one of the phases 3 and 4 lasts 3 months on average. Total supply in nitrogen, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O and MgO were respectively 865, 716, 1615 and 144 kg/ha.

As stated earlier, fertilizers were

applied through irrigation. Water supplies during the 10- months-duration of the crop were 585, 555 and 412 for the 1st, 2nd and 3rd farms. Irrigation was applied on a daily basis; doses ranging from 500 ml/plant/day at the establishment of the crop in September to 1.5 ml/plant/day in mid-November. Peaks of 1.7 ml/plant/day were recorded during hot periods. Dam water was used preferentially unless there is a shortage, in which case water is pumped from the aquifer.

Fertigation was controlled using indications from the electrical conductivity of the daughter solution. On average EC values approached 2 dS/m before fruit setting and once the crop was in full production they were above 3 dS/m.

**2.5. Fertigation and the Environment:** It is important to point out that tomato production in winter means that the crop is established at the end of summer; production starting at the beginning of autumn and peak production is reached in winter. If conditions are favorable, sustained harvesting lasts until June.

Growth and development of the plant coincides with midday temperatures above 30°C in the greenhouse and night temperatures above 17°C. This

	EC (extrait/5)	pH	N-NH4	N-NO3	P2O5	K2O	MgO	CaO	Fe	Mn
<b>units</b>	dS/m	-	ppm	ppm	‰	‰	‰	‰	ppm	ppm
<b>value</b>	0,062	8,53	408	18,16	0,307	0,515	4,661	2,863	12,101	23,186
<b>optimum</b>	0,2 to 0,3	6 to 7	10 to 20	50 to 80	0,05 to 0,12	0,3 to 0,9	0,2 to 0,4	0,8 to 3,2	4 to 15	4 to 15

**Table 1.** Fertility status of the soil in the 3 farms prior to planting

growing stages	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		MgO	
	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%
I	67,7	7,8	96,8	13,5	89,5	5,5	10,8	7,5
II	352,5	40,7	255,3	35,6	577,5	35,8	50,2	35
III	235,1	27,2	219,9	30,7	520,3	32,2	47,6	33,2
VI	210	24,3	144,3	20,2	428	26,5	34,8	24,3
Total	865,3	100	716,3	100	1615,3	100	143,8	100

**Table 2:** Timetable supply of major fertilizing element for a tomato crop in relation to growing stages

is due to solar radiation above 1,500 j/cm<sup>2</sup> and daylight lasting more than 15 hours. Plants evolve from a vegetative phase to a generative one in almost optimal micro-climatic conditions. Water and nutrient requirements are consequently high (over 1 L /plant/day).

After mid November, a noticeable drop in temperature occurs when plants are at the 8th or 9th fruit bunch fully formed. Temperature is less than 25°C during the day and below 10°C during the night. Solar radiation is less than 1,000 j/cm<sup>2</sup> and night periods are longer with higher relative air humidity. Plants etiolate, pollination is deficient and the metabolism is slowed down at a period when fruit setting is high. In most cases farmers continue to give high irrigation doses enriched with fertilizers.

**2.6. Fertigation and yield:** Figure 1 shows tomato yields in the 3 farms of the study over periods of 15 days. Production started in mid November with an average yield of 11.2 t/ha, which lasted until end November. Average yield peak was observed between 26 December and 10 January when it reached 21.4 t/ha. Farm 1 had a maximum yield of 25 t/ha at 2 different periods (January and March). Total yield was 262, 220 and 212 t/ha in the three farms respectively over a harvesting period of 7 months. Average yield of the 3 farms was 231 t/ha.

### 3. DISCUSSION

The results show that for the production of 1 ton of fruits, farmers have supplied (in kg/ha) 3.71 N; 3.10 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 6.99 K<sub>2</sub>O and 0.62 MgO. According to SASMA standards as reported by Hartiti and Goumih (1991) these figures are in conformity for nitrogen and potassium but are 37 % in excess for phosphorous and 67 % in defect for magnesium. Such patterns are quite normal since efficiency in the use of phosphorous hardly reaches 50 %.

In spite of the important supply in fertilizers, the yield pattern shows a decrease in mid winter (Fig. 1).

Unfavorable environmental conditions can partly explain this decrease. Fruit quality is also affected. Among the causes blossom end rot is due to an induced calcium deficiency brought about by an excess in potassium. Phosphorous deficiency is also noticeable and induces a reduction in fruit quality thus increasing a high percentage of fruits not meeting export standards (discarded fruits), reaching 30 to 50 % of total yield.

Nutritional imbalance is illustrated in Figure 2 showing that in the soil the K<sub>2</sub>O/MgO ratio decreases regularly from December to January. This ratio should be 1 to 1 (Letard et al, 1995). The ratio of K to Ca+Mg had values below 0.5 during winter whilst it should be above 0.5. Nevertheless research carried out on tomatoes in soil less culture (Cooper, 1981) show that the crop tolerates variations in the ratios between elements as the N to K ratio. Brun and Blanc (1987) have shown that in a tomato crop conducted in soil less culture during autumn, the balance between fertilizing elements N,P,K are 1:0.21:1.43 during the first phase, 1:0.22:1.60 during the second and 1:0.32:3.00 during the third.

In order to compensate low absorption potential of the roots during the cold period, farmers regularly spray foliar fertilizers based on calcium, phosphorous and trace elements (especially iron). We have decided to study the case of Farm 1. Results are presented in Figure 3. Although potassium concentration in the petioles declined between October and February, it remained in a rather optimal interval (3 to 6% of dry matter). On the other hand, between end January and end April the concentration of calcium was below 2% and therefore the plants were deficient since the optimal should be between 2 and 4%. The concentration of phosphorous and magnesium was also below the optimum (0.4 to 0.9%) from January to March, keeping a value below 0.4%.

Foliar diagnosis is an important procedure to assess the nutritional status of the plants and hence a statistical study was carried out using

the multiple regression method with the aim of showing a possible relationship between yield and concentration of major elements in the petioles (N, P, K). Results show that there is a highly significant linear correlation between yield and the concentration of these elements in the petioles. Correlation equations obtained during phases 3 and 4 of the crop are:

$$\text{Phase III : Yield (T/ha/week)} = 17,11 \text{ NO}_3 + 3,54 \text{ P} + 2,02 \text{ K} \quad (n=28 ; r=0,99)$$

$$\text{Phase IV : Yield (T/ha/week)} = 24,13 \text{ NO}_3 - 6,63 \text{ P} + 2,36 \text{ K} \quad (n=28 ; r=0,99)$$

It can be asserted that yield can be explained through nutritional elements in the leaves. This is an important result since it can enable farmers predict their yield through leaf analyses.

### 4. CONCLUSION

Autumn and winter periods are critical for tomato crop production as there is an important issue for water and mineral absorption. Unfavorable microclimatic conditions disturb nutritional balance of plants. Unable to control and adapt the climate inside greenhouse shelters, farmers endure this situation. In addition soil cannot be easily turned into a favorable factor for water and mineral plant nutrition as it has a low buffer potential due to sandy texture, low CEC and above all very low organic matter content (less than 1% on average). During cold periods farmers inject humic acid in order to improve physico-chemical soil properties. Shoot part of the plants is regularly sprayed with different nutritive solutions. Fruits are thinned to improve their quality.

#### Acknowledgements

Results presented in this paper were compiled from a thesis jointly conducted by Lakloui and Merzouk in 1999. The author is thankful to Mr. Mohmoh, Saïdi and Baïlla, engineers and farmers, for their amiable cooperation. The author would also like to thank Professor MC Harrouni for reviewing and translating the text.

### References

- Brun R. et Blanc D. 1987, Cinétique d'absorption hydrique et minérale. Composition ionique des solutions, in :Les cultures hors sol, Denise Blanc éditeur, INRA, 409 p, Imprimerie Louis-Jean, ISBN 2-85340-936-8.
- Cooper A., 1979- The ABC of NFT, Grower Books, London, 181 p, ISBN 0-901361-224.
- EACCE, 2004- Situation des exportations des fruits et légumes, Pack Info, N°32, Sep 2004.
- Hartiti M. et Goumih M., 1991- Besoins en éléments fertilisants de la tomate sous abri, in : Irrigation fertilisante des cultures maraîchères, Séminaire et Exposition, ORMVA/S-M, IAV Hassan II, SASMA, Agadir, 99.
- Lakloui A et Mrzouk F. 1999- Contribution to la maîtrise de la fertigation de la tomate sous serre dans la région du Massa, Travail de fin d'Études, IAV Hassan II- Complexe Horticole d'Agadir, 94 pp, 34 tableaux, 28 figures.
- Letard M., Erard P. et Jeannequin B. , 1995- Maîtrise de l'irrigation fertilisante. Tomate sous serre et abris en sol et hors sol, CTIFL, 220 p., ISBN 2-87911-06868.

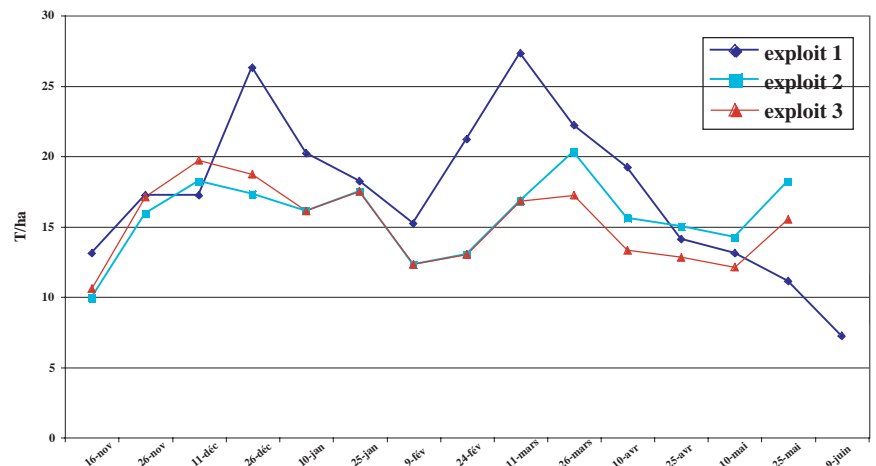


Fig. 1: Tomato yield evolution (T/ha) in the tree farms studied

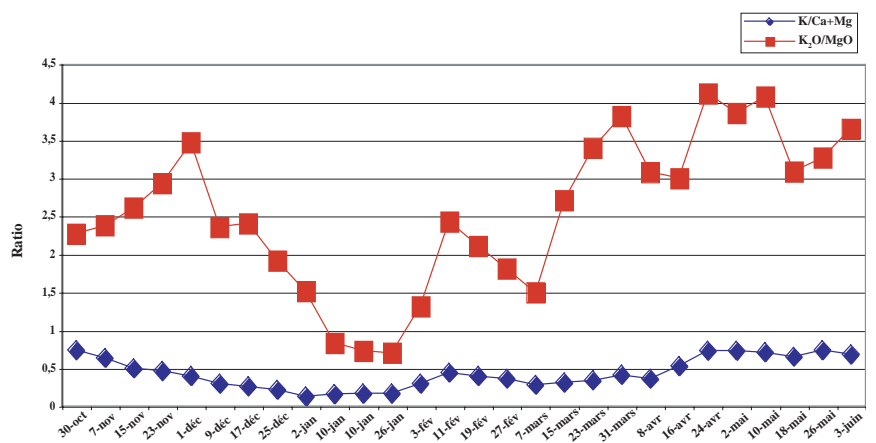


Fig. 2: Evolution of K/Ca+Mg and K<sub>2</sub>O/MgO soil ratio

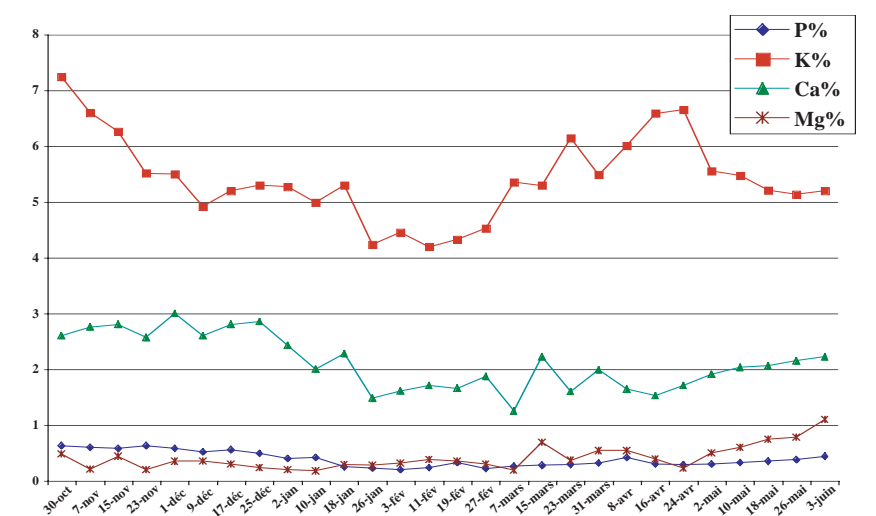


Fig. 3: Evolution of tomato foliar P.K.Ca.Mg elements (% Dry Weight)

# SITUATION DE L'IRRIGATION/FERTIGATION EN ALGÉRIE

M.T. Halilat<sup>1</sup>

## Résumé

*En Algérie, la technique de la fertigation ou bien de l'irrigation localisée en générale est mal connue. Elle est donc dans un stade embryonnaire bien que les potentialités d'utilisation représentent 80 % de la superficie agricole totale (SAU) irriguée et 54 % de la superficie concernée par la grande hydraulique actuellement dominée à 71.3 % par une irrigation traditionnelle et 28.7 % en aspersion. L'économie d'eau induite avoisine 1 milliard de mètres cubes d'eau sur les volumes actuellement gérés. Un doublement de la SAU irriguée et une nette amélioration des rendements agricoles seront ainsi potentiellement réalisés.*

*Actuellement, une plus grande priorité est accordée à la mobilisation des eaux superficielles. Les statistiques donnent le chiffre de 65 milliards de m<sup>3</sup> comme apport pluviométrique annuel, dont :*

- 46 milliards de m<sup>3</sup> s'évaporent,
- 15 milliards de m<sup>3</sup> ruissellent,
- 4 milliards de m<sup>3</sup> s'infiltrent.

*Les possibilités de mobilisation en 2010 sont estimées à 4.52 milliards de m<sup>3</sup>. C'est ainsi que 10 barrages sont déjà achevés et dont la ressource mobilisée est susceptible d'être utilisée pour l'irrigation.*

*Pour utiliser les ressources en eau et augmenter le potentiel productif agricole le programme de développement de l'irrigation mis en œuvre doit être renforcé pour couvrir une cadence annuelle moyenne de 3000 ha.*

*Mots clés : Ressources en eau, Irrigation, fertilisation, terres.*

## 1. INTRODUCTION

L'Algérie est confrontée depuis les années soixante dix à des enjeux vitaux, d'ordres économiques, sociaux et environnementaux, relatifs à la satisfaction de leurs besoins croissants en eau, de bonne qualité particulièrement dans leurs régions les plus sèches (> de 90 % de la superficie totale du territoire), à savoir les régions subsahariennes et sahariennes, où les systèmes aquifères du Continental Intercalaire (C.I) et du Complexe Terminal (C.T) constituent, sinon l'unique, du moins la principale ressource en eau.

Dans ce pays les terres arables ne constituent que 3 % du territoire, l'agriculture souffre de la dégradation des sols et de la faiblesse de l'irrigation. Elle a en outre été délaissée dans les années 1970 en faveur de l'industrie. Aujourd'hui, le secteur primaire emploie environ 26% de la population active.

Les problèmes de l'eau revêtent donc

en Algérie une exceptionnelle importance parce que le pays est essentiellement agricole, sous un climat rude, méditerranéen et steppique, et qu'il doit nourrir une population de plus en plus importante, à laquelle le développement des cultures irriguées apporte à la fois du travail, de la richesse et des éléments de nutrition toujours plus abondants.

Il faudrait, en effet, disposer annuellement de 15 à 20 milliards de m<sup>3</sup>, en allouant 70 % à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante. C'est dire l'extrême tension exercée sur ces ressources lorsque l'on sait que l'Algérie mobilise à peine au plus 5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an.

En Algérie, la disparité de la disponibilité des ressources hydriques est remarquable. Les ressources potentielles en eau sont limitées et inégalement réparties. Elles ont été évaluées à 19.2 milliards de m<sup>3</sup>, dont 12.4 milliards de m<sup>3</sup> d'eau de surface, 1.8 milliards de m<sup>3</sup> d'eaux souterraines du Nord et 5 milliards de

m<sup>3</sup> d'eaux souterraines exploitables dans le Sud.

## 2. LES TERRES IRRIGUÉES

### 2.1. Dans le monde

A l'échelle mondiale, il est paradoxal de constater que les pays où les superficies irriguées sont les plus vastes n'engagent pas à affirmer qu'ils possèdent une agriculture développée. En effet, c'est dans les pays touchés par la mousson où la hauteur pluviométrique dépasse 3.5 m annuellement que l'on trouve la Chine au premier rang (84 700000 ha irrigués), suivie de l'Inde (32 300000 ha) et du Pakistan (14 300000 ha). Ces trois pays, à eux seuls, totalisent 57.9 % des terres irriguées dans le monde. L'Europe 11.5 %, l'Amérique du Nord et Centrale 10 %, le proche et moyen Orient 7.9 % et l'Afrique 3.4 % (Kettab et Zella, 2000). D'autres pays comme la Jordanie, Taiwan et Chypre ont un peu plus de 10000 ha.

Faut-il aussi signaler que plus de 50 %

<sup>1</sup> Laboratory of Saharan Bioresources: Safeguarding and Valorization. Department of Agronomic Sciences. Ouargla University (30000). Algeria.

de la production agricole mondiale proviennent de l'agriculture irriguée et qu'il est quasi-impossible de s'attendre à une production dans des zones caractérisées par une aridité prolongée sans irrigation. L'irrigation traditionnelle est délaissée peu à peu au profit de la pratique de l'irrigation localisée. Les superficies dotées par la pratique de l'irrigation sont réparties dans le monde (Anonyme, 1990) comme suit (tableau 1).

## 2.2. Cas de l'Algérie

La superficie totale de l'Algérie est de l'ordre de 238.17 millions d'hectares qui est répartie (MADR, 2002) comme suit (Fig. 1) :

- Les terres improductives non affectées à l'agriculture (terres non susceptibles d'être cultivées ou pacagées) avec une superficie de 190.1 millions d'hectares représentant 80 % de la superficie totale du pays ;

- Les terres utilisées par l'agriculture avec une superficie de 40.8 millions d'hectares, dont 33.3 millions d'hectares susceptibles d'être utilisées et 7.5 millions d'hectares comme superficie cultivée ce qui représentent respectivement 14 et 3 % de la superficie du territoire national ;

- Le reste des terres comprenant d'une part les terres forestières (bois, forêt, maquis ...) avec 4.2 millions d'hectares et d'autre part les zones alfatières avec 2.9 millions d'hectares. Ces deux catégories représentent respectivement 1.7 % et 1.3 % de la superficie totale de l'Algérie.

La superficie agricole utile (S.A.U) qui représente que 3 % de la superficie globale (localisée pour la plupart dans la partie Nord du pays) est en baisse, depuis les années soixante, de plus de 200.000 hectares, cette superficie est difficilement extensible étant donné les contraintes naturelles. En tenant compte de l'évolution démographique, le capital foncier n'a pas bénéficié de tous les efforts nécessaires pour sa préservation. La S.A.U. par tête d'habitant est passée de 0.63 hectare en 1967 à 0.36 en 1982, ce ratio a atteint 0.20 en l'an 2000.

A titre de comparaison, la S.A.U. par tête d'habitant est de 0.55 hectare en Espagne, 0.50 hectare en Grèce, 0.42 hectare en France et 0.19 hectare en Italie.

L'eau est également un facteur limitant, les terres irriguées

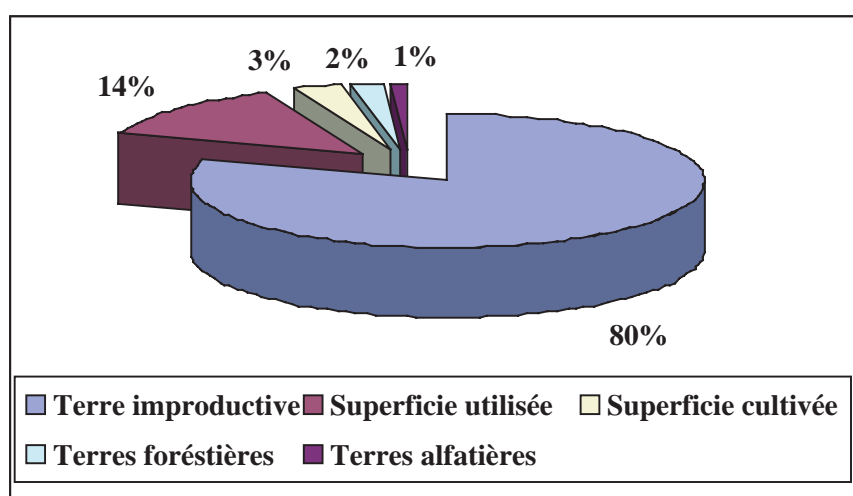
représentent environ 300.000 hectares soit près de 4 % du total de la S.A.U. Cette superficie est en régression compte tenu des terres perdues au profit des autres secteurs et qui se situent pour la plupart dans les zones irriguées du littoral et des plaines.

Pays	Superficie (ha)	Pays	Superficie (ha)
USA	392 000	Australie	59 000
Espagne	112 000	France	51 000
Afrique du Sud	102 000	Italie	21 000
Egypte	68 000	Brésil	20 000

**Tableau 1 :** Répartition des terres irriguées dans quelques pays du monde

Spécifications	1999-2000	2000-2002	Moyenne 1991 à 2003	
			Ha	%
Céréales	60240	72470	51014	11.26
Cultures fruitières	179430	189900	161746	35.71
Cultures maraîchères	193380	198710	189716	41.88
Cultures industrielles	25510	23980	19805	4.37
Vignes	3220	5750	2915	0.64
Divers	27310	21890	27567	6.09
<b>Total</b>	<b>489090</b>	<b>512700</b>	<b>458425</b>	<b>100</b>

**Tableau 2 :** Répartition des superficies irriguées selon la spéculation (MADR, 2003).



**Figure 1 :** Répartition générale des Terres

A ces contraintes s'ajoutent les données du relief, pays de montagnes avec une altitude moyenne de l'ordre de 800 m, les superficies recevant plus de 400 mm de pluies par an et dont les pentes sont inférieures à 12 % n'excèdent pas un million d'hectares.

**NB.** Sur les 7.500.000 hectares de S.A.U, il n'y a que 4.600.000 hectares qui sont effectivement cultivés, les autres restant en jachère.

La nécessité de développer une agriculture irriguée en Algérie (tableau 2) a de tous les temps constitué une préoccupation majeure des responsables de l'agriculture algérienne.

A la faveur de la relative disponibilité de l'eau et de l'installation de nouveaux équipements d'irrigation dans le cadre du Fond National de la Relance et du Développement Agricole (FNRDA), les superficies des cultures irriguées en Algérie ont sensiblement augmenté (tableau 3) de 165000 ha en 1962 à 512700 ha en 2002. Ceci représente une proportion de 6.8 % de la superficie agricole utile globale (SAU).

Les terres potentiellement irrigables s'élèvent à 1154000 ha (hors Sahara) dont 607000 ha facilement irrigables et 547000 ha irrigables moyennant des travaux. Les superficies concernées par la grande hydraulique, essentiellement les périmètres irrigués varient entre 50 et 90000 ha, celles relatives à la moyenne et petite hydraulique vont de 230 à 260000 ha dont 3 % desservies par les retenues collinaires, 42 % par les puits, 20 % par les forages, 3 % par les sources et 8 % au fil de l'eau. Par ailleurs sur un total de 512700 ha irrigués (Anonyme, 1997) les quatre wilayas du Sud s'accaparent 30 % de la SAU irriguée. La wilaya de Biskra occupe la première place avec 13.24 %, suivi de la Wilaya de M'sila avec 5.64 % puis la Wilaya d'Adrar avec 5.54 % et celle d'El Oued avec 5.3 %. Ce sont particulièrement ces zones d'irrigation qui nécessitent une rénovation de leur technique d'irrigation.

L'agriculture telle que pratiquée depuis longtemps a montré ses limites

Année	1962	1989	1995	1998	2003
Superficies irriguées (ha)	165000	378000	454000	489000	512700

**Tableau 3:** Evolution des superficies irriguées en Algérie (MADR, 2003).

Types	Superficie (ha)	%
Nord	353700	69
Sud	159000	31
Eaux souterraines	374270*	73*
Eaux de surface	138430*	27*
<b>Total *</b>	512700	100

**Tableau 4 :** Structure des superficies irriguées en Algérie

face à des besoins croissants et des changements fondamentaux y sont apportés régulièrement. Le ratio (SAU irriguée/habitant) n'a pas cessé de diminuer, de 0.009 ha/habitant en 2000, il serait seulement de 0.005 ha/hab. en 2025. Si les rendements agricoles ne s'améliorent pas et la superficie agricole (3 % de la surface du pays) n'augmente pas, la dépendance alimentaire ne ferait sans doute que s'élargir.

En termes structurels, les superficies irriguées se concentrent essentiellement dans le Nord du pays avec 69 %, le reste qui est de 31 % dans le Sud. Cette irrigation s'opère pour environ 73 % à partir des eaux souterraines, les eaux de surfaces ne contribuant qu'à hauteur de 27 % (tableau 4).

En conclusion, nous pouvons dire qu'en dépit des efforts déployés depuis le début des années 70, l'agriculture irriguée en Algérie demeure au stade embryonnaire (tableau 4). Les superficies réellement irriguées apparaissent limitées au regard des potentialités en sols irrigables qui sont évalués par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH, 2001) à 1.5 millions ha. Par ailleurs, le niveau d'équipement des superficies en

grande hydraulique reste relativement faible. En effet, le ratio des superficies équipées en grande hydraulique rapporté à 1000 habitants s'élevait en 2002 à 23 ha contre 33 et 42 ha respectivement pour la Tunisie et le Maroc.

En fait, ce sont les disponibilités en eau qui constituent la contrainte majeure à l'essor du développement de l'irrigation et plus précisément de la grande hydraulique agricole en Algérie. Les possibilités de développement de ce type d'irrigation, à l'horizon 2020, apparaissent comme réduites au regard des disponibilités en eau qui n'excéderont pas les 2.5 milliards de m<sup>3</sup>, soit l'équivalent d'environ 300000 à 360000 hectares, c'est-à-dire au mieux le doublement des superficies actuellement équipées (163000 hectares).

### 3. L'IRRIGATION LOCALISEE EN ALGÉRIE

La partie Nord de l'Algérie qui représente moins de 10 % de la superficie du pays, enregistre 90 % de l'écoulement total en eau, le reste du territoire est caractérisé par une aridité chronique. L'apport pluviométrique annuel est à hauteur de 65 milliards de m<sup>3</sup> dont 46 s'évaporent, 15 milliards ruissellent et 4 milliards de m<sup>3</sup>

s'infiltrer. Les possibilités de mobilisation en 2010 estimées à 4.52 milliards de m<sup>3</sup>, représenteront un taux de mobilisation de plus de 30 % de l'écoulement moyen annuel mais insuffisant pour satisfaire les besoins croissants (Anonyme, 1990 ; Kettab, 2002).

Les problèmes engendrés par les limites de gestion de la ressource en eau, du sol et de l'énergie ont conduit à de nouveaux concepts et de nouvelles techniques de répartition d'eau englobées sous le terme de « l'irrigation localisée ».

Du stade expérimental ayant prouvé des performances avantageuses, l'irrigation localisée est passée à l'application à grande échelle avec une dynamique de croissance élevée. En Algérie, cette technique est mal connue et elle serait à un stade de balbutiement bien que les potentialités d'utilisation représentent 80 % de la SAU irriguée et 54 % de la superficie concernée par la grande hydraulique actuellement dominée à 71.3 % par une irrigation traditionnelle et 28.7 % en aspersion. L'économie d'eau avoisine 1 milliard de m<sup>3</sup> d'eau sur les volumes actuellement distribués. Ceci permettra de doubler la SAU irriguée et accroîtra les rendements agricoles d'au moins 30 %.

En Algérie, cette technique d'irrigation localisée est à ses débuts. Elle a été introduite et implantée dans quelques zones de manière disparate sans une prise en charge sérieuse par les services concernés et sans l'implication directe des spécialistes. Elle couvrirait actuellement quelques milliers d'hectares localisés en majorité dans le Sud du pays et dans les zones dominées par les cultures céréalières et sous serres.

En considérant les superficies actuellement irriguées, celles potentiellement aptes à l'irrigation localisée et en prenant un taux de 50 % de la superficie occupée par les cultures maraîchères (soit 20 % de la SAU irriguée), 50 % de la superficie des cultures fruitières (19 % de la SAU irriguée), 50 % de la superficie des cultures industrielles (2,5 %) et 50 % de la superficie irriguée occupée

par la vigne (0.5 %), on totalise 42 % de la SAU irriguée nationale soit 190145 ha. Ce chiffre peut être relevé à 80 % en y associant d'autres cultures (cultures sous serre et palmiers), il constitue 54 % de la superficie des grands périmètres irrigués dominés par une irrigation classique.

### Cas du Sahara algérien

Pour tout le Sahara algérien, l'agriculture irriguée (Fig. 2) aurait dépassé en 1998 les 150.000 ha, répartis sur 60.000 ha de palmier, 30.000 de maraîchage et 60.000 ha de céréales. Pour la zone exploitant les eaux du continental intercalaire (C.I) et du continental terminal (C.T), la

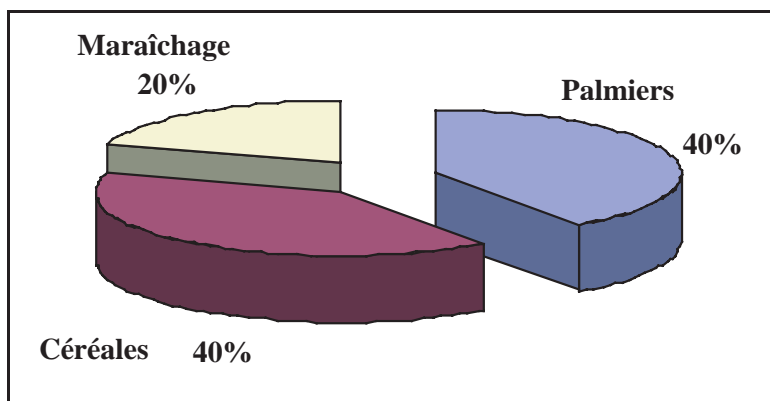


Figure 2 : Superficie irriguées au Sahara

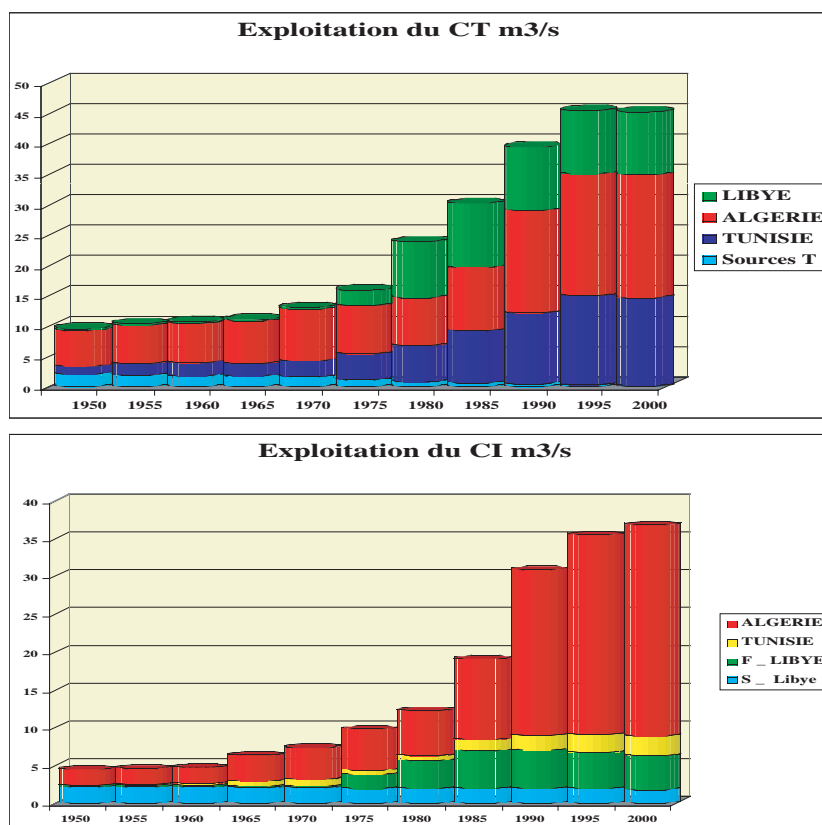


Figure 3 : Exploitation du CI et CT

superficie actuellement irriguée est de l'ordre de 100.000 ha. L'évolution de la consommation en eau pour l'irrigation des périmètres irrigués n'a pas été linéaire du fait des changements de stratégies intervenues au cours des trente dernières années.

L'analyse des variations des volumes des deux principales réserves d'eaux souterraines au Sud du pays (complexe intercalaire 'CI' et complexe terminal 'CT') a montré que dès 1970, les nappes étaient surexploitées (fig. 3) avec un prélèvement de 3 m<sup>3</sup>/s

Les niveaux piézométriques n'ont pas cessé de baisser, bien que les différentes simulations effectuées montrent qu'il est possible d'envisager une exploitation contrôlée jusqu'à 5 milliards de m<sup>3</sup>/an pour les deux nappes (fig. 4) (Anonyme, 1990).

En ce qui concerne les ressources naturelles, on peut faire une tentative de connaissance de l'évolution des prélèvements en eau grâce aux inventaires réalisés lors des études ERESS, RAB 80 et du présent PDGDRS ou Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes (ANRH, 2001).

On constate ainsi que les prélèvements sur le CI et le CT ont en gros doublé depuis les années 1980, après une période à peu près stable dans les années 1970.

#### 4. L'UTILISATION DES ENGRAIS EN AGRICULTURE

La fertilisation par les engrais était peu répandue à l'indépendance. Les exploitants agricoles ont toujours recherché l'accroissement des rendements à travers l'apport de fumier ce qui empêche l'appauvrissement et la dégradation de la structure des sols. Les exploitants agricoles pratiquent également « le brûlis » des chaumes pour augmenter les éléments minéraux dans le sol. Les objectifs d'augmentation de la production ont entraîné un accroissement rapide de l'utilisation des fertilisants.

La consommation moyenne d'engrais par hectare de terres arables dans le

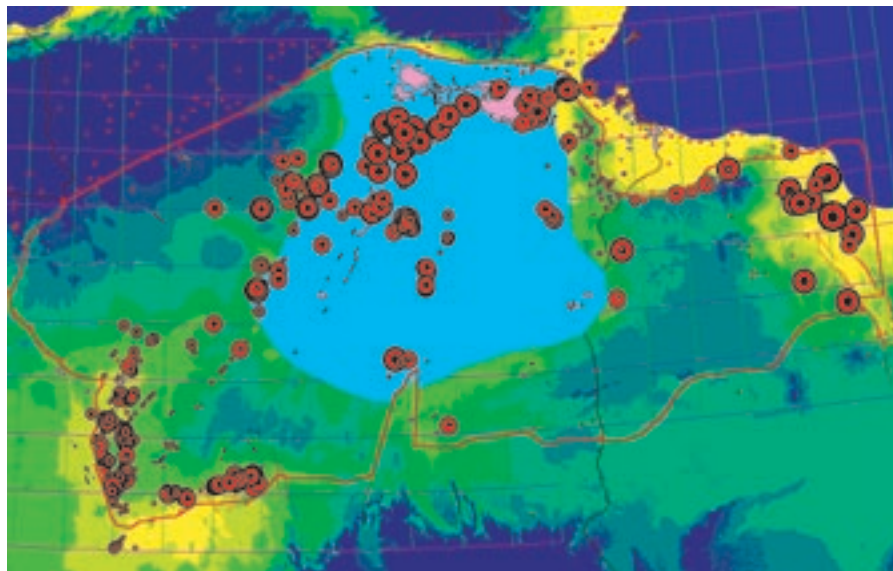
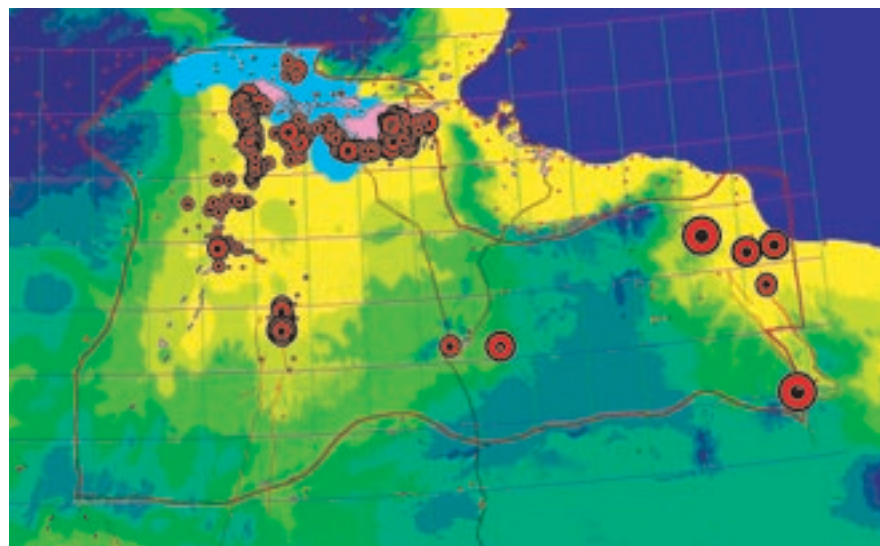


Figure 4 : Répartition des Prélèvements dans le Continental Intercalaire en 2000



Répartition des Prélèvements dans le Complexe Terminal en 2000

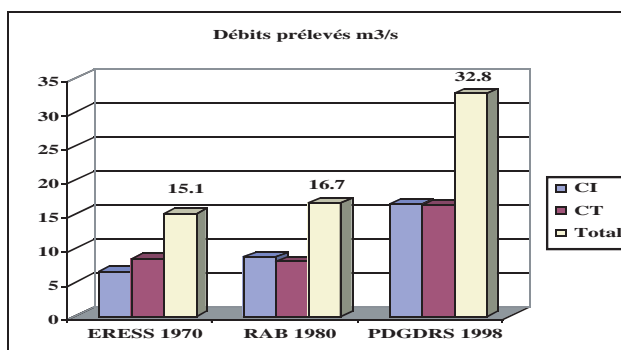


Figure 5 : Evaluation historique des prélèvements en eau sur les grands aquifères

bassin méditerranéen (Tableau 6) est de 113 Kg/ha en 1997. Elle est en augmentation dans tous les pays depuis 1960, excepté l'Algérie en Afrique du Nord, où elle a diminué ces dernières années à 12 Kg/ha, pour s'approcher du niveau de 1960 (7 Kg/ha).

Dans tous les autres pays, les augmentations de la consommation sont très importantes. A titre d'exemple, elle a été multipliée par 10 au Proche-Orient (de 1961 à 1997). Le Liban (195 Kg/ha), a des niveaux d'utilisation équivalents ou supérieurs aux pays européens. La Syrie (67 Kg/ha) et la Turquie (63 Kg/ha) sont situées sous la moyenne méditerranéenne. L'Egypte, où toutes les terres arables sont irriguées, est le plus grand consommateur d'engrais à l'hectare des pays méditerranéens avec 306 Kg/ha en 1997.

Dans le Maghreb, les quantités utilisées sont bien moindres, de l'ordre de 23 Kg/ha en moyenne pour la même année. Dans les pays de l'Union européenne, on note des niveaux d'utilisation de l'ordre de 177 Kg/ha en 1997. La France consommait 261 Kg/ha en 1997, après avoir atteint les 300 Kg/ha dans les années 80.

L'introduction prometteuse de techniques d'irrigation localisée dans l'agriculture permet d'espérer une réduction substantielle des consommations d'eau et une augmentation importante des rendements.

La fertigation, qui consiste à introduire les éléments fertilisants par l'intermédiaire du réseau d'irrigation localisée, a plusieurs avantages :

- un dosage de précision ;
- une réduction de la main d'œuvre.

Il doit être encouragé chez les agriculteurs s'équipant d'irrigation localisée. La réalité montre que : dans la région saharienne, les doses d'engrais utilisées par les irrigants étaient systématiquement trop élevées. Elles dépassent les 400 Kg d'azote par hectare alors que les essais expérimentaux montrent que l'optimum varie de 200 à 250 Kg/ha (Halilat, 1993 et 2004).

L'excès n'est pas considéré seulement comme une perte du point de vue

Année	Pivot total	Superficie Totale (ha)	Pivot opérationnel	Superficie Cultivée (ha)
1986/87	4	142	4	142
1987/88	49	2327	25	1103
1988/89	69	3024	38	1487
1989/90	154	5406	93	3424
1990/91	190	6621	114	4117
1991/92	221	7465	124	4436
1992/93	273	9451	176	5997
1993/94	340	14383	225	8319
1994/95	357	15126	213	9476
1995/96	359	15661	218	8354
1996/97	377	16071	197	7272
1997/98	430	20472	240	7792
1998/99	430	20472	197	6680
1999/2000	434	20382	197	6549
2000/2001	434	20382	196	6271
2001/2002	434	20382	178	5261
2002/2003	434	20382	147	4126
2003/2004	436	20206	170	4642

(Diverses ressources)

**Tableau 5 :** Situation des céréales sous pivots à travers les wilayas sahariennes

Pays	Quantités d'engrais moyennes (Kg/ha)				
	1961	1970	1980	1990	1997
Maroc	4	12	26	35	32
Algérie	7	16	31	18	12
Tunisie	2	6	26	37	29
France	113	244	297	296	261
Espagne	35	59	81	98	108

(Diverses ressources)

**Tableau 6 :** Quantités d'engrais (Kg/ha) utilisées dans quelques pays de la Méditerranée

économique, mais il constitue une menace pour les eaux souterraines par les nitrates.

Le taux de fertilisation en Algérie (tableau 7) passe de 25 Kg/ha en 1981-85 à 12 kg/ha en 1998 soit une réduction d'environ 50 %. Ceci s'explique en partie, par la hausse des prix des engrais, les faibles rendements des cultures et une vulgarisation insuffisante des

techniques agricoles modernes.

Face à cette évolution, la production nationale d'engrais (Tableau 8), après un déclin en 1995 qui a surtout concerné la production d'engrais phosphatés (80000 tonnes), l'ammonitrate pour (61000 tonnes) et les produits phytosanitaires, semble amorcer un redressement en 1997 qui probablement pourrait se maintenir à l'avenir.

Algérie Commodity (FAO)	Surface (000ha)	% surface fertilisée	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O			N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O			Total
			Taux (Kg/ha)			Consommation (000TM) (Tonnes métriques)			
Année 1998			Taux (Kg/ha)			Consommation (000TM) (Tonnes métriques)			
Fruits	290.0	11.0	100.0	100.0	100.0	3.2	2.9	2.9	9.0
Pomme de terre	67.0	100.0	120.0	180.0	180.0	8.0	12.1	12.1	32.2
Légumes	267.0	2.0	100.0			0.5			0.5
Blé	2589.0			46.0			9.5		9.5
<b>Total</b>	3213.0					11.7	24.5	15.0	51.2
Consommation estimée (FAO) : 1998						44.0	30.8	33.2	108.0

(MADR, 2003)

**Tableau 7 : Niveau de fertilisation en Algérie**

10<sup>3</sup> tonnes

Intitulé	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	2000	2003
Engrais phosphatés	170	173	155	153	204	179	80	45	118
Ammoniac	160	177	305	532	462	310	216	175	458
Ammonitrate	390	263	230	192	235	220	61	12	73
Produits phytosanitaires	16	8	11	5	8	10	3	1	2

(MADR, 2003)

**Tableau 8 : Evolution de la production d'engrais en Algérie**

## PLAN NATIONAL DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE (PNDA) AIDES APPORTEES PAR L'ETAT

La préoccupation principale de l'Etat algérien, pendant ces dernières années (depuis 2000), réside dans le but d'assurer une sécurité alimentaire ; par l'accès aux produits en quantité et en qualité ; à toute la population sans distinction.

De ce fait, le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR) a conçu et lancé un Plan National de Développement Agricole (PNDA) qui consiste en mesures d'encouragement pour les agriculteurs. Ces nouvelles réformes pour le secteur agricole visent à :

- 1- Développer les productions agricoles en valorisant les potentialités du pays et en maîtrisant les contraintes naturelles (sols et climat);
- 2- Préparer l'agriculture algérienne au nouveau contexte régional et international;
- 3- Révolutionner le système de financement et augmenter les investissements.

Pour assurer ces objectifs, une

nouvelle politique a été défini et qui s'articule sur :

Pour répondre à la logique du marché, les autorités introduisent des cultures en adéquation avec le savoir-faire traditionnel des paysans, le climat et la nature des sols. La popularisation de la technique d'irrigation par goutte-à-goutte permet par exemple de lutter contre la sécheresse. Dans ce domaine l'Etat prend en charge jusqu'à 70 % des frais d'installation des systèmes.

Ce plan a été réalisé de la façon suivante :

### A- DEMARCHE PRECONISEE

#### I- Dépolitiser l'acte agricole par :

- a) Une gestion transparente et responsable ;
- b) Le renforcement du rôle du technicien et du savoir-faire ;
- c) Une gestion transparente et responsable ;
- d) La recherche de la rentabilité et l'efficacité dans l'exploitation des ressources naturelles ;
- e) Le renforcement du rôle de

l'administration et sa responsabilité dans l'animation des programmes et l'obtention des résultats ;

- f) Le renforcement de la concertation avec les partenaires concernés et la précision des missions des uns et des autres.

#### II- Libérer l'initiative et favoriser l'efficacité :

- a) Programme ouvert : le financement reste ouvert sans restriction administrative dominée antérieurement par le système de quota ;
- b) L'exploitation est l'unité centrale dans le dispositif.

#### III- Crédit agricole mutuel

##### 1- Objectifs :

- Faciliter l'exécution des différents programmes à travers un financement simple et efficace.
- Renforcer les garanties de succès et de réussite par l'intégration directe du technicien.

##### 2- Modalités d'application :

- a) Tout projet validé par la commission technique de wilaya ouvre droit à un crédit agricole

DEMARCHE	PROGRAMME
Modernisation et Intensification	Programme Filières
Extension et Valorisation des Terres Agricoles	Programme Concession
Extension, Protection de l'Environnement et Valorisation de la Montagne	Reboisement Economique et Utile
- Utilisation Rationnelle des Ressources Naturelles. - Gestion de la Sécheresse. - Lutte contre la Désertification. - Amélioration des Revenus des Agriculteurs.	Reconversion
- Adaptation de l'Administration et Amélioration de ses Capacités d'Analyse. - Amélioration Qualificative de l'Encadrement. - Renforcement de l'Information et de la Communication.	Formation  Communication

## Références bibliographiques

- Anonyme, 1990: Stratégie de la gestion des eaux dans le bassin méditerranéen. Actes de la
- Anonyme, 1997: Agriculture par les chiffres. Ministère de l'agriculture, Algérie.
- ANRH, 2001: Construction et Ajustement du Modèle de Simulation. Rapport de Phase, 96p.
- Conférence Ministérielle, Horizon 2000. Ministère de l'équipement, Algérie. 174p.
- Halilat, M.T., 1993: Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (région de Ouargla). Mémoire de magister. I.N.E.S. Batna. 130p.
- Halilat, M.T., 2004: Effet de la fertilisation azotée et potassique sur blé en zones sahariennes. Etude de Recherche en cours.
- Kettab, A., 2002: Water Ressources: Realities and perspectives. International conference on the environmental problems of the Mediterranean Region. Nicosia, North Cyprus Turkey.
- Kettab, A. et Zella, L., 2000: Développement de la micro irrigation dans le monde. Séminaire sur la micro irrigation. Blida (2000), pp12.
- MADR, 2003: Rapport sur la situation du secteur agricole en 2001. Données de la relance des investissements. 79p.

- mutuel au niveau de la CNMA ;
- b) L'exploitant contracte ainsi un crédit qui financera la totalité de son projet selon des modalités arrêtées par le CNMA ;
  - c) Après réalisation du projet et constatation des services techniques de la Direction des Services Agricoles, l'exploitant, en accord avec la CNMA, remboursera la partie qui lui incombe soit : la somme totale moins le soutien du FNRDA.

## B- INSTRUMENTS NECESSAIRES

- Un schéma directeur d'aménagement agricole au niveau de chaque wilaya.
- Des instruments de financement appropriés.
- Un encadrement réglementaire simple et transparent.
- Une disponibilité suffisante de plants de bonne qualité.
- Un encadrement technique et administratif rapproché et qualifié.
- Une protection phytosanitaire efficace.

## CONCLUSION

Le diagnostic du secteur agricole algérien met en évidence les traits caractéristiques susceptibles de favoriser une croissance durable de l'agriculture. Néanmoins, l'analyse des résultats de l'activité agricole émergent deux types d'agricultures :

- 1- Une agriculture d'exportation et de productions extraverties (agrumes, céréales et ovins).
- 2- Une agriculture d'alimentation qui a enregistré un net recul.

Ainsi, les réformes agraires et les politiques agricoles initiées ont donné à la production agricole une évolution contrastée, avec des rendements moyens de 10 à 15 quintaux de céréales par hectare entre 1967 et 2003, s'expliquent aussi par l'instabilité du monde rural, les mutations fréquentes, un approvisionnement aléatoire en facteurs de production et le faible niveau d'encadrement technique.

Le choix entre ces deux types de cultures détermine la stratégie de

développement agricole à mettre en œuvre qui devrait tenir compte des faiblesses et des atouts du secteur.

## 1 - Les faiblesses

- L'instabilité de la production agricole liée aux aléas climatiques et l'évolution défavorable du potentiel productif et des ressources en terres et en eaux en régression, du fait notamment, des restructurations successives et morcellement des terres, des phénomènes d'érosion, de désertification et de pollution, de l'absence ou l'insuffisance de drainage, de la salinisation des sols, etc..... ;
- Les faibles rendements liés aux niveaux techniques insuffisants et/ou en régression, à la faiblesse relative de l'investissement au niveau des exploitations, etc..... ;
- Le niveau de dépendance s'aggrave au double plan de l'alimentation de la population et des intrants nécessaires à la production agricole.

## 2 - Les atouts

- Des possibilités importantes d'intensification et de mise en valeur de la SAU, insuffisamment exploitées au niveau des zones montagneuses, des Hauts Plateaux, de la steppe ;
- Des ressources hydriques souterraines appréciables notamment dans le Sud ;
- Du climat doux en hiver, pouvant permettre l'exportation de primeurs vers les pays tempérés ;
- L'abondance de l'énergie ;
- Une main-d'œuvre disponible et ouverte au progrès technique ;
- Des réseaux de communications et d'infrastructures relativement denses ;
- Du caractère porteur du marché intérieur, conforté par la proximité de marchés extérieurs potentiels ;
- Des capacités de transformation appréciables.

Cette situation suggère une nouvelle approche en matière de développement agricole durable qui doit prendre en compte en premier lieu l'atténuation ou la suppression des faiblesses et des difficultés rencontrées, à partir d'orientations et d'axes de développement à mettre en œuvre pour l'amélioration de la production et l'augmentation des rendements agricoles.

# RESULTATS PRELIMINAIRES DES ESSAIS IIP SUR CERTAINES ESPECES FRUITIERES ET MARAÎCHERES DANS LE SUD ALGERIEN

S. Sekkouti<sup>1</sup>

## 1. INTRODUCTION

Beaucoup de données sont publiées par divers organismes nationaux et internationaux sur la croissance démographique, la pauvreté des populations, la dégradation de l'environnement, la pollution des eaux, la diminution des terres agricoles et leur fatigue; l'ensemble de ces facteurs prélude d'un avenir difficile et inquiétant.

Cette situation alarmante interpelle davantage les partenaires décisionnels notamment les scientifiques et les praticiens de l'agriculture, les engageant vivement à la recherche de modèles de développement adéquats afin de pouvoir répondre à ces multiples préoccupations, ceci par la conception d'une agriculture réelle, capable de nourrir l'homme sans trop nuire à son environnement par une fertilisation raisonnée, gestion rationnelle des eaux d'irrigation, intensification des productions agricoles et utilisation rationnelle des pesticides.

Depuis plus d'une décennie, l'Algérie fournit de grands efforts pour le développement et la relance du secteur de l'agriculture; ceci par la mise en oeuvre de programmes appelés "Programme National de Développement Agricole" (= PNDA) et du "Fond National pour la Régulation et du Développement Agricole" (= FNRDA). Malgré d'importantes enveloppes financières attribuées pour la réalisation de ces programmes, seulement près de 20 % des terres utilisables par l'agriculture sont cultivées. La méconnaissance par l'agriculteur des bonnes pratiques agricoles et avec l'absence sur le terrain des institutions chargées de l'appui technique et de la vulgarisation font que l'agriculture algérienne reste

encore incapable d'assurer les besoins nationaux en produits agricoles.

Les essais IIP en Algérie s'inscrivent dans un cadre purement technique de coopération pour une meilleure connaissance de la problématique de l'agriculture en matière de fertilisation, par la suite, proposer selon les résultats obtenus à la fin des expérimentations les orientations nécessaires sur les pratiques les plus adaptées pour des applications raisonnées et efficaces des engrais potassiques.

Une approche de travail constituée de 04 sous objectifs a été définie (voir annexe n° 1) pour atteindre l'objectif principal fixé par ce programme expérimental.

Les sous objectifs se présentent comme suit :

1. Etablissement d'un diagnostic sur les pratiques locales de fertilisation des cultures fruitières et maraîchères dans les provinces (wilaya) de Tiaret (hauts plateaux) et de Ghardaïa (oasis);
2. Evaluation de besoins en potassium de quelques cultures fruitières et maraîchères;
3. Contribution à l'établissement de normes locales d'interprétation des analyses de sols pour une bonne fertilisation potassique;
4. Vulgarisation agricole sur les pratiques correctes de la fertilisation potassique.

## 2. MATERIEL ET METHODE

### 2.1. Diagnostic sur les pratiques locales de fertilisation

Plusieurs visites de terrain ont été effectuées auprès des agriculteurs et de responsables techniques au niveau

des structures locales de l'agriculture des deux régions retenues pour les essais IIP. L'ensemble des données recueillies lors de ces rencontres sont enregistrées dans des fiches conçues particulièrement pour la réalisation de ce premier sous objectif. L'étude des données collectées nous a permis d'établir le diagnostic préliminaire suivant :

1. Très peu de données disponibles sur les pratiques locales de fertilisation, celles qui existent sont souvent dépassées et ne répondent pas réellement aux spécificités de l'agriculture actuelle;
2. Les connaissances de l'agriculteur dans le domaine de la fertilisation sont très limitées, et les doses d'engrais appliquées aux cultures sont aléatoires;
3. Absence quasi-totale sur le terrain des institutions chargées de l'appui technique et de la vulgarisation agricole.

L'ensemble de ces aléas réunis, font de l'agriculture algérienne un secteur resté encore infirme jusqu'à présent, et loin d'atteindre les objectifs escomptés par les programmes PNDA et FNRDA.

Présentation des sites d'expérimentation: Deux wilayas du pays ont été choisies pour les essais IIP.

- Ghardaïa (Ghardaïa, Zelfana) oasis sahariennes situées au sud de la capitale (600 km), ces régions connues par leur climat aride caractérisé par le manque des précipitations (160 mm /an) et la réfraction des terres agricoles. Les oasis sont constituées de jardins ayant des superficies variables de 200 m<sup>2</sup> à 2 ha, composés essentiellement de palmier-dattiers

1. Ets Aït Mamar, Distributeur d'engrais et semences Sougueur, Tiaret, ALGERIA.

en premier plan, puis d'arbres fruitiers et de cultures maraîchères de plein champ cultivées pour l'autoconsommation ou bien pour alimenter le marché locale en produits agricoles.

Les anciennes palmeraies de l'oued M'Zab, riche en biodiversité variétale et avec leur densité élevée (300 à 350 pieds / ha), suscite actuellement une grande attention de l'état algérien pour la protection et le développement de ressources phytogénétiques locales et ce, dans le cadre des programmes PNDA. A Zelfana, une nouvelle palmeraie créée en 1939, est conçue dans les normes des palmeraies modernes type des Zibans, situées à l'Est du pays.

Le nombre de 100 palmiers par hectare, tel est le peuplement phénicicole de chaque jardin. Cette belle variété de datte, depuis plusieurs années présente des dessèchements des fruits (dattes) qui, probablement sont liées à des carences en élément potassique.

- Tiaret (Recheiga, Sougueur), située à environ 360 Km sud -ouest de la capitale, région connue par sa vocation agropastorale, la pluviométrie dans cette région les 800mm / an, avec le PNDA et le FNRDA, cette zone bénéficie de grandes enveloppes budgétaires pour assurer la relance de l'agriculture. L'arboriculture fruitière et le maraîchage de plein champ prennent chaque année des dimensions importantes, cependant le choix des espèces arboricoles fait défaut et la plantation de rosacées à pépins sur des terrains calcaire pose de multiples problèmes de développement des vergers (chloroses ferriques et mortalité des plants).

L'eau est de bonne qualité, puisée à partir de 80 à 100 m, dans la nappe phréatique.

## 2.2. Les Essais

Les expérimentations sont menées sur des cultures choisies par leur importance accordée dans la nomenclature des cultures stratégiques en Algérie, le cas de la pomme de terre

et de la datte, par contre l'oignon, la tomate, pastèque, orange, pommes et poires sont des produits agricoles de large consommation.

Au nombre de dix, les essais retenus pour cette année 2004 sont repartis sur les régions suivantes :

Zelfana : 2 essais sur palmier dattier.

Ghardaïa : 1 essai sur oranger.

1 essai sur pommier.

Recheiga : 1 essai sur pommier.

1 essai sur poirier.

Sougueur : 2 essais sur pommes de terre.

2 essais sur oignon.

Chaque essai est constitué de 4 termes différents, 1 témoin et 4 répétitions, cela fait au total 20 parcelles.

Les parcelles sont de dimensions standard de 7 m<sup>2</sup> (1 x 7 m) délimitée par des piquets métalliques. Elles sont disposées de façon décalée les unes par rapport aux autres, selon le protocole expérimental élaboré pour éliminer les effets de bordure. Les termes expérimentés sont identifiés et visiblement apparent de loin, grâce à des fanions de différentes couleurs fixés dans un ordre sur l'un des quatre piquets délimitant la parcelle. Concernant les arbres fruitiers les fanions sont attachés sur les branches exposées au nord.

Les couleurs des fanions désignent les termes suivants :

- Blanc : aucune application d'engrais = T0.

- Vert : application de l'agriculteur = T1.

- Crème : préconisation du ministère de l'agriculture = T2.

- Jaune : préconisation T2 - 50% de potasse.

- Orange : Préconisation T2 + 50% de potasse.

Les doses de références appliquées dans ces essais sont les normes (standard) préconisées par le ministre de l'agriculture algérien.

L'engrais de potassique utilisé dans cette expérimentation contient 50 % de K<sub>2</sub>O (42 % de K) et de 46% de SO<sub>3</sub> (18% S). Une première application d'engrais de fond NPK (3 x 15) est effectuée lors de la mise en place de la culture, puis 4 autres applications d'engrais potassique d'appoint apportées de façon échelonnée selon un calendrier adapté à chaque culture. Les applications interviennent au stade floraison /début grossissement des fruits jusqu'au stade véraison / début maturation. Plusieurs modes d'applications de l'engrais ont été essayés, et le choix du mode d'application dépend essentiellement des possibilités de l'agriculteur en matière d'équipements et aussi, selon certaines spécificités des exploitations.

- En arboriculture fruitière, l'engrais est apporté soit par fertigation au goutte à goutte ou bien incorporé superficiellement dans les cuvettes d'irrigation à proximité des racines.

- En cultures maraîchères, les doses sont appliquées par pulvérisation foliaire à l'aide de pulvérisateur à dos de 15 litres.

## 2.3. Résultats

Les résultats préliminaires des essais pour cette année 2004 ne sont pas tous exploitables, sauf pour les cultures d'oignon et de pomme de terre qui ont été menées normalement, les rendements par hectare obtenus de ces expérimentations sont présentés au tableau récapitulatif des rendements en annexe n° 2.

Compte tenu de certains aléas survenus lors des expérimentations, la culture de pommier a été endommagée totalement par les chutes de grêle et des averses intervenues en date du 15 juin à Ghardaïa, concernant la culture d'oranger, les fruits et les arbres ont été affectés à un degré moindre par rapport aux pommiers, les fruits exposés sur le côté nord/nord-est des arbres ont été endommagés. En outre, des accidents climatiques, les invasions acridiennes ont ravagé les cultures et provoqué des perturbations dans le développement des fruits d'oranger par des

défoliations partielles des arbres. Concernant les rendements de palmiers dattiers, ils seront évalués qu'à après récolte, vers la fin de novembre.

L'expérimentation menée à Recheiga sur pommier et poirier a été entravée vers la fin à cause d'interruptions accidentelles des arrosages, intervenus en période critique du développement des fruits jusqu'à la maturation, durant les mois de juin jusqu'à la mi-Août.

Par ailleurs, le suivi de l'expérimentation nous a permis de relever certaines observations liées au comportement des cultures faisant objet d'essais vis à vis de la potasse :

- **Oignon:** Les lots T2 et T4 du site n° 01, les plants ont présentés un état phytosanitaire sain se traduisant par une bonne vigueur des plants, feuilles turgescences avec une belle pigmentation de vert foncé. De même sur le plan résistance aux maladies, les lots traités (T2 et T4 )

n'ont pas présentés d'attaques d'oïdium comparable au T0 et T1 ou la maladie été présente.

- **Pommes de terres:** les mêmes observations ont été relevées sur les T2 et T4 toujours du site N° 01, l'application de la potasse en pulvérisation foliaire sur maraîchage donnent un résultat sur les plants traités au bout de 12 à 15 heures qui

### 3. CONCLUSION

suivent l'application.

L'emploi raisonné des engrais notamment la potasse, orienté par la recherche, joue un rôle crucial dans le développement des ressources agricoles du pays; tel est l'objectif final attendu des essais IIP en Algérie.

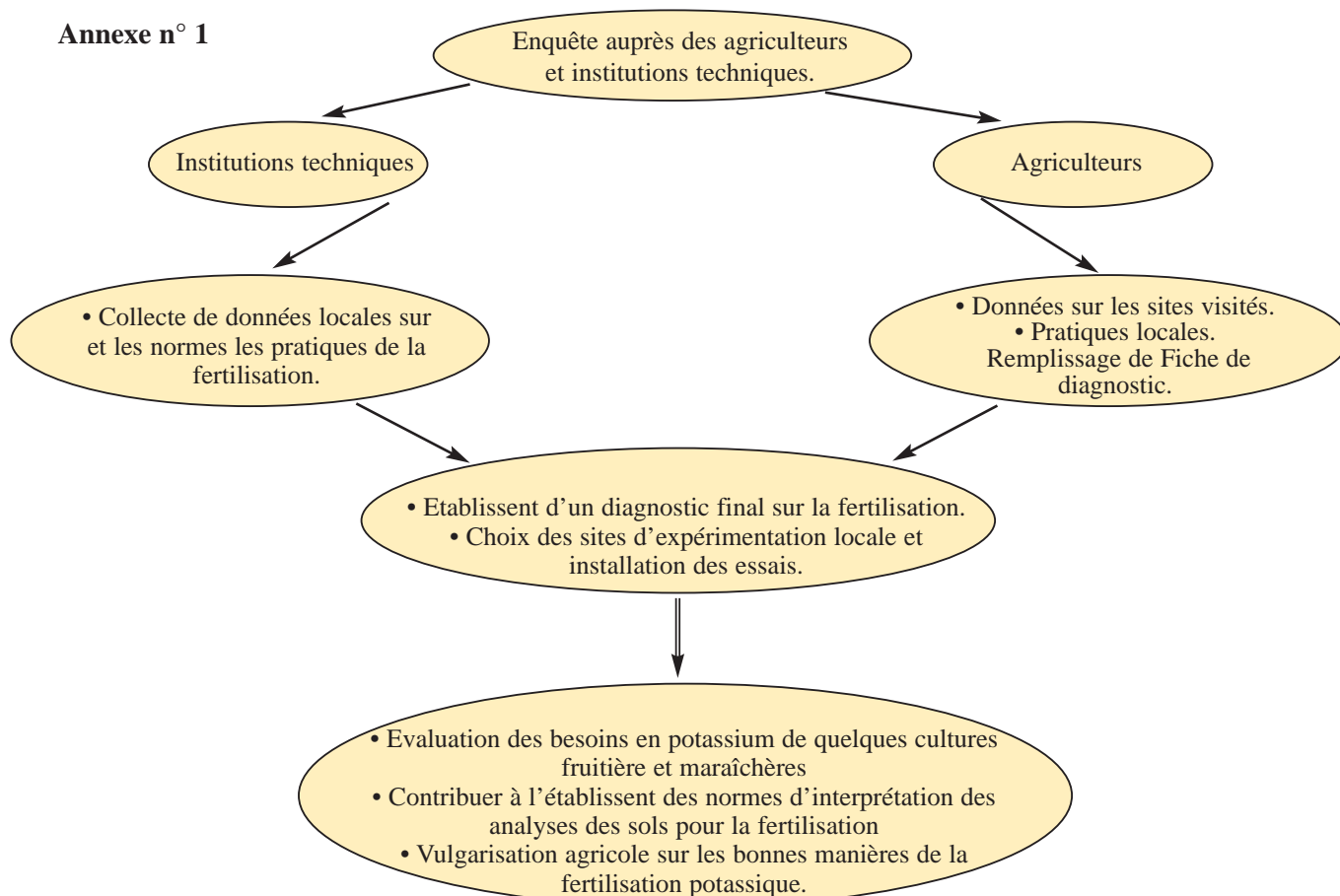
Les résultats des essais sont partiellement exploitables à cause de certains imprévus survenus lors des expérimentations. Néanmoins, avec tous les aléas arrivés, l'agriculteur a

vraiment senti l'intérêt et la nécessité de la fertilisation potassique après avoir constaté les importants écarts de développement acquis des cultures dans les lots T2 et T4 en comparaison avec sa propre préconisation et du témoin T0.

Le nombre de termes expérimentés cette année ne suffit pas pour apporter une appréciation valable sur les doses. Il serait donc plus intéressant d'ajouter d'autres termes entre les doses T2 et T4 afin de déterminer la dose d'application la plus plausible pour chaque localité, c'est-à-dire : T3 = T2-50 %, T4 = T2 + 25%, T5 = T2 + 50% et T6 = T2 +75% de potasse.

De même, il serait aussi intéressant dans un autre cadre de recherche d'étudier les relations communes entre la fertilisation potassique et la résistance des cultures aux attaques d'oïdium sur oignon et sur pommes de terre, à fin de valoriser d'avantage l'intérêt de la fertilisation.

#### Annexe n° 1



Annexe 2

Tableau Récapitulatif des Productions par Culture et par zone

Culture	Région	Site	Procuration qx/ha et par terme					Observations
			T0	T1	T2	T3	T4	
Oignon	Sougueur/Tiaret	1	226,52	358,1	422,5	382	460,15	
Oignon	Sougueur/Tiaret	1	348,6	513,2	562,3	382,5	587,06	
P.de terre	Sougueur	1	86,05	138,57	156,2	108,7	203,9	
P.de terre	Sougueur	2	115,45	178,6	226,35	152,7	237,03	
Palmier	Zelfana	1	-	-	-	-	-	Récolte en nov
Palmier	Zelfana	2	-	-	-	-	-	Récolte en nov
Oranger	Ghardia	1	-	-	-	-	-	Récolte en Dec
Pommier	Ghardia	1	-	-	-	-	-	
Pommier	Rechaiga	1	-	-	-	-	-	
Poirier	Recheiga	1	-	-	-	-	-	

# FERTILITE DES SOLS ET FERTILISATION POTASSIQUE DES PRINCIPALES CULTURES DANS LA REGION DU GHARB (MAROC): DEVELOPPEMENT DE LA FERTIGATION

M. Zeraouli & M. Mrini

## Résumé

La plaine alluviale argileuse du Gharb et sa zone côtière, situées au nord ouest du Maroc couvrent ensemble une superficie de l'ordre de 250 000 ha, dont 85 % est occupée par des sols lourds (Tirs et Dehs). Si les sols argileux du Gharb sont réputés bien pourvus en potassium, les sols sablonneux, dit Rmel, de la zone côtière (Mnasra) qui couvrent 39 000 ha environ, sont quasi-systématiquement peu à très peu pourvus en cet élément. Les cas rencontrés de sols de texture grossière plus ou moins riches en cet élément, ne l'ont été que grâce à des apports massifs ou excédentaires de potassium ayant abouti à des richesses artificielles.

La zone côtière consomme annuellement dans les environs de 2270 T de  $K_2O/an$ , soient 58.2 kg  $K_2O/ha$  par an, tandis que la zone de la plaine en consomme 5820 T par an, soient 27.6 kg  $K_2O/ha$  par an. Ces chiffres sont en conformité avec la richesse des sols dans les deux zones.

L'arachide, le poivron, la pomme de terre, le tournesol et les cultures sous serre sont les principaux consommateurs de potassium dans la zone côtière avec plus de 55% du potassium utilisé alors que le groupe formé par les agrumes, le tournesol et le blé tendre consomme plus de 56% du potassium appliqué dans la zone de la plaine.

Mais les gros consommateurs annuels de potassium à l'ha dans la zone côtière restent les cultures sous abri avec plus de 500 kg  $K_2O/ha$  pour le bananier et plus de 400 kg  $K_2O/ha$  pour le fraisier, 140 kg  $K_2O/ha$  pour le poivron et 115 kg  $K_2O/ha$  pour la pomme de terre. Dans la zone de la plaine se sont le niora (piment rouge) avec 190 kg  $K_2O/ha$ , la vigne avec 120 kg  $K_2O/ha$ , les agrumes avec 80 kg  $K_2O/ha$  et les rosacées avec 78 kg  $K_2O/ha$  qui sont les cultures les plus consommatrices.

Plus de 70% du potassium appliqué dans la zone côtière provient de l'engrais composé 14-28-14 et seulement 13% provient du sulfate de potasse. Dans la zone de la plaine c'est le sulfate de potassium qui est la forme dominante avec environ 67% de source de potassium appliqué et seulement 23% du potassium appliqué provient de la forme 14-28-14.

Le développement de la micro irrigation et des cultures sous abri conjugué à la tendance actuelle des agriculteurs à raisonner davantage leurs pratiques de fertilisation favorisent l'utilisation d'engrais simples notamment le sulfate de potassium, qui est également largement adopté en fertigation, devenue désormais, une pratique assez bien courante et en plein essor dans le Gharb. En effet, on compte actuellement dans la zone d'action de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG), plus de 2 200 ha équipés en micro irrigation de plein champ dont la moitié se trouve dans la zone côtière et plus de 2 000 ha de cultures sous abri équipés aussi en micro irrigation dont plus de 98.8% se localisent dans la zone côtière.

Globalement, le sulfate de potassium est amené à occuper une place de choix dans la fertilisation des cultures dans le Gharb, même en fertigation en raison de sa solubilité (111g/l à 20°C) jugée acceptable par les utilisateurs et surtout pour son prix très avantageux par rapport à son concurrent immédiat le nitrate de potassium. Il est aussi amené à combler les risques de déficience temporaire en potassium en zone de plaine où l'intensification culturelle posera davantage le problème au moment des stades critiques d'absorption maximale, car même si les sols lourds du Gharb sont jugés bien pourvus quantitativement en cet élément, rien ne rassure sur leurs aptitudes à libérer les quantités requises pendant les phases critiques, aussi courtes soient-elles, pouvant ainsi engendrer un manque à gagner en quantité et/ou en qualité de la production.

## 1. INTRODUCTION

La zone du Gharb, d'une superficie irrigable de l'ordre de 250.000 ha située au nord ouest du Maroc est constituée, de 84 % d'alluvions argileuses (tirs et dehs), le reste est

formé par des sols sableux (R'mel) d'apport éolien longeant la côte atlantique sur une largeur allant de 5 km à quelques centaines de mètres. La carte n°1 rapporte la répartition des sols dans le Gharb selon leurs natures sablonneuse ou argileuse.

Actuellement plus de 114.000 ha de la plaine alluviale proprement dite sont équipés en grande hydraulique, tandis que la zone sablonneuse côtière (M'nasra) qui occupe environ 39.000 ha connaît un développement important du pompage privé à partir



chargé de la gestion du périmètre irrigué du Gharb - et de l'étude intitulée "Projet de protection de l'environnement du bassin de Sebou (PPES)" menée par le Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement en 1999.

### 3.1. Consommation des engrais potassiques

3.1.1. Dans la zone côtière: la consommation totale des engrais potassiques dans la zone sableuse des M'nasra s'élève à environ 2300 T de  $K_2O$ /an, soit une consommation moyenne de l'ordre de 58 kg de  $K_2O$ /ha si on ne tient pas compte des sols hydromorphes argileux faisant partie de la zone des M'nasra et où globalement aucune fertilisation potassique n'y est pratiquée. La répartition de la consommation par culture est rapportée au tableau 1.

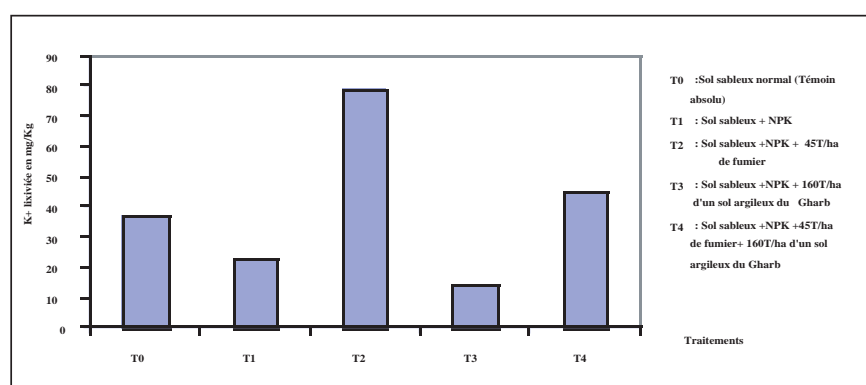
Ce tableau fait dégager que ce sont les cultures industrielles et les cultures maraîchères qui consomment le plus le potassium avec 70% environ du potassium total consommé dans la zone. Pour les cultures industrielles, ce sont le tournesol et l'arachide qui en consomment le plus avec respectivement 13.5% et 16.8% du potassium total consommé dans la zone, alors que pour les cultures maraîchères, ce sont le poivron et la pomme de terre qui sont les principaux consommateurs avec respectivement 14.2% et 9.5% du total consommé.

Pour les céréales, c'est le blé qui vient en premier lieu avec 10.2% du total consommé. Le tournesol, l'arachide, le poivron, la pomme de terre et le blé consomment ensemble environ les deux tiers du potassium appliqué dans la zone côtière.

Mais, les gros consommateurs annuels de potassium à l'hectare (ha), restent les cultures sous-serres : le bananier avec plus de 500 kg/ha, en effet les enquêtes menées par l'ORMVAG font dégager même des doses apportées souvent dépassant les 1000 kg/ha sans tenir compte des doses excessives en fumier appliquées, contrairement à ce qui a été rapporté par le rapport de l'étude PPES qui avance le chiffre de

Culture	Quantité consommée (T)	% du total
Céréales	369	16
Fourrages	126	5.5
Légumineuses	48	2.1
Cultures industrielles	875	38
Maraîchage	720	31.2
Cultures sous serres	166	7.2
<b>TOTAL</b>	<b>2304</b>	<b>100</b>

**Tableau 1 :** Unités potassiques consommées par les cultures dans la zone côtière.



**Fig 2 :** Quantité de  $K^+$  (mg/Kg) lixiviée dans un essai en pots contenant un sol sablonneux des M'nasra

118 kg/ha de  $K_2O$  qui reste très loin de la réalité. Le fraisier se place en deuxième lieu avec plus de 400 kg/ha de  $K_2O$ .

Si on tient compte de ces données et des superficies actuellement occupées par ces deux cultures qui sont de l'ordre de 800 ha pour le bananier (657 ha pour l'étude PPES en 1999) et 400 ha pour le fraisier, ces deux cultures devraient consommer au moins 560 T d'unités potassiques ce qui les placeraient à la tête des consommateurs globaux au niveau régional et à l'échelle de la parcelle.

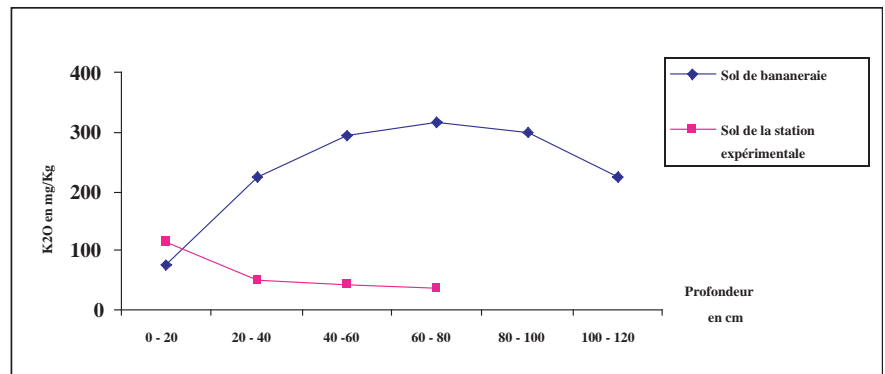
Il paraît que l'apport massif des engrais potassiques à ces deux cultures ne s'explique pas uniquement par la déficience des sols en cet élément mais aussi par le fait que la potasse migre bien en profondeur dans les sols sableux des M'nasra jusqu'à même au-delà de la rhizosphère, Al Joudani (2003) a démontré dans des

pots de végétation de 3 kg contenant un sol sableux des M'nasra, où on a étudié l'impact d'un amendement argileux, que la quantité de potassium lixiviée a varié selon les traitements comme le montre la figure 2, de 15 ppm à 80 ppm soit 45 à 240 kg de potassium sous forme  $K^+$ , ce qui correspond à des quantités lixiviées substantielles dépassant même la masse des nitrates lixiviée.

Dans un profil réalisé récemment (octobre 2004) sur un sol sableux sous-serre des M'nasra portant le bananier, les analyses de potassium obtenues, comme en relate la figure 3, montrent bien une forte lixiviation de la potasse dépassant les 250 mg/kg même pour les horizons de profondeur, et ce, en comparaison avec les analyses d'un profil sablonneux analogue modérément fertilisé en potasse.

## Références Bibliographiques

- AGBANI M. (1978): "Analyse du comportement de quelques sols marocains sous l'effet de différents niveaux de fertilisation potassique dans les essais de longues durées. Mémoire de 3ème cycle. IAV Hassan II - Rabat - Maroc.
- ZEHAUF M.; A. HARRAK et J. ENNAHARI (1995): "Synthèse des résultats sur 4 années d'expérimentation". Rapport ORMVAG 17p.
- BADRAOUI M. (1988): "Mineralogy and potassium availability in soils from the Chaouia and Gharb Regions (North western of Morocco). Ph-D, Thesis, Univ of Minnesota, p 199.
- BADRAOUI M. et M. AGBANI (1999): "Fertilité potassique des sols du Gharb : Conséquences sur la fertilisation potassique de la betterave" – journée-débats sur la fertilité et la fertilisation potassique des sols du Gharb – ORMVAG – Centre technique des cultures sucrières 16 mars 1999.
- BADRAOUI M.; AGBANI M.; BOUABID R. et ZERAOULI M. (2001): "Mieux fertiliser le tournesol en irrigué: Nouvelles normes pour la région du Gharb" Transfert de technologie en agriculture - MADREE/DERD n° 80 mai 2001.
- BADRAOUI M.; P.R BLOOM and M.DELMAKI (1992) : "A mobilisation of non-exchangeable K by rey grass in five Moroccan soils with and without mica". Plant and soils. 140 : 53-63.
- BOUABID R. et BADRAOUI M. (1999) : "Chimie, minéralogie et dynamique du potassium dans les sols de la plaine du Gharb" – journée-débats sur la fertilité et la fertilisation potassique des sols du Gharb – ORMVAG – Centre technique des cultures sucrières 16 mars 1999.
- EL JOUDANI K. (2004) : "Impact d'un amendement argileux et argilo-organique sur la productivité du blé dur dans un sol sableux de la zone côtière Marocaine-M'nasra" Mémoire DESA UFR Agrochimie – Université Ibn Tofail – Faculté des Sciences – Kénitra.



**Fig 3 :** Teneurs en K<sub>2</sub>O (mg/Kg) en fonction de la profondeur de deux sols sablonneux des M'nasra

Culture	Quantité consommée (T)	% du total
Céréales	2035	35
Fourrages	259	4.4
Arboriculture	1593	27.4
Cultures industrielles	1083	18.6
Maraîchage	803	13.8
Divers	49	0.8
<b>TOTAL</b>	<b>5822</b>	<b>100</b>

**Fig 3 :** Teneurs en K<sub>2</sub>O (mg/Kg) en fonction de la profondeur de deux sols sablonneux des M'nasra

Après ces deux cultures ce sont le poivron et la pomme de terre qui se placent respectivement au 3ème (avec 140 kg/ha de K<sub>2</sub>O) et 4ème rang (avec 115 kg/ha K<sub>2</sub>O).

Concernant la nature des engrais potassiques utilisés dans la zone côtière, l'étude PPES (1999) avance que plus de 70 % du potassium appliqué provient de l'engrais composé 14-28-14 et seulement 13 % provient de sulfate de potasse, mais les données actualisées pour l'an 2004 ne plaident plus pour ces proportions, le sulfate de potasse prend de plus en plus de place dans les plans de fumure des agriculteurs des M'nasra.

3.1.2. Dans la zone de la plaine alluviale: Dans les sols de la plaine, la consommation totale des engrais potassiques s'élève à environ 5800 T de K<sub>2</sub>O/an, soit une consommation moyenne de l'ordre de 28 kg/ha/an. La répartition des consommations par culture est rapportée au tableau 2.

Ce tableau montre que les céréales et l'arboriculture sont les principales consommatrices de la potasse dans la plaine avec environ 62.5 % du potassium total consommé. Si on prend en compte les cultures industrielles, ces trois types de cultures consommeraient alors les 4/5 du potassium total consommé dans la plaine.

Pour l'arboriculture, se sont les agrumes qui ont la part la plus importante avec plus de 22.8 % du potassium total consommé dans cette zone, soit plus de 83 % du potassium total consommé par l'arboriculture.

Dans le cas des céréales, c'est le blé tendre qui en utilise le plus avec 19.7 % du potassium total consommé dans la plaine, alors que dans le cas des cultures industrielles, le tournesol en reste le principal consommateur avec 14 % environ du total du potassium utilisé dans la zone.

	Systèmes d'irrigation											
	Gravitaire		Aspersion		Pivot		Localisé plein champ		Localisé sous-serre		Total	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Zone de la plaine	47950	63.4	1140	22.6	1100	85.9	1290	57.6	120	5.9	51600	59.8
Zone côtière y compris les sols argileux de cette zone	27700	36.6	3900	77.4	180	14.1	950	42.4	1900	94.1	34630	40.2
Total Gharb	75650	100	5040	100	1280	100	2240	100	2020	100	86230	100
% du total Gharb	87.74		5.84		1.48		2.60		2.34		100	

**Tableau 3 :** Etendue de l'irrigation privée dans le Gharb (en ha) en fonction des systèmes adoptés.

Les agrumes, le blé tendre et le tournesol consomment, donc, ensemble plus de 56 % du potassium total utilisé dans la plaine. La canne à sucre et la betterave sucrière, bien qu'elles soient des cultures exigeantes en potassium, les plans de fumures qui leur ont été réservées dans la zone de la plaine argileuse ont éliminé cet élément en raison de la richesse confirmée des sols. Mais un comité de suivi de la fertilité potassique des sols du Gharb a été instauré dans la région pour détecter tout signe d'épuisement ou de déséquilibre nutritionnel chez ces deux cultures.

Concernant les gros consommateurs annuels à l'hectare, c'est le piment rouge qui vient en premier avec 190 kg K<sub>2</sub>O/ha suivi du groupe formé de la vigne, des agrumes et des rosacées avec des consommations moyennes annuelles respectives de 120 kg K<sub>2</sub>O/ha, 80 kg K<sub>2</sub>O/ha et 78 kg K<sub>2</sub>O/ha. Mais le piment rouge et la vigne n'occupent que des étendues relativement réduites dans la plaine soit 531 ha et 875 ha respectivement.

En comparant les deux principales zones du Gharb : la plaine et la zone côtière, on s'aperçoit que les gros consommateurs de potasse à l'ha se trouvent dans la zone côtière, il s'agit du bananier et du fraisier.

En ce qui concerne la nature des engrais potassiques utilisés, l'étude PPES (1999) rapporte qu'environ 67

% de la potasse consommée provient du sulfate de potasse et seulement 23 % de l'engrais composé 14-28-14.

### 3.2. La fertilisation potassique et le développement de la fertigation

En parallèle au développement des superficies équipées en grande hydraulique qui atteignent actuellement plus de 114.000 ha, l'irrigation privée connaît aussi un rythme de développement soutenu. L'irrigation privée dans le Gharb intéresse plus de 86.000 ha.

Le tableau 3 rapporte les données relatives à l'irrigation privée dans la zone du Gharb, il fait dégager que c'est dans la zone côtière où l'irrigation privée s'est développée le plus, elle occupe plus de 37.5 % de la superficie totale irriguée par pompage privé dans le Gharb.

L'irrigation gravitaire reste le système le plus adopté par les agriculteurs en dépit de ses innombrables inconvénients (pertes d'eau importantes, temps d'irrigation long, confection permanente des raies etc....), elle intéresse plus de 87 % du total de l'irrigation privée, le reste est occupé par le localisé avec 4.94 % du total (2.6 % en plein champ et 2.3 % en sous-serre), par l'aspersion avec 5.85 % du total et par l'irrigation par pivot qui occupe 1.48 %.

L'irrigation localisée s'est surtout développée dans la zone côtière, en

effet, en dépit d'une superficie moindre, l'irrigation localisée dans cette zone occupe plus de 2/3 de la superficie totale du Gharb irriguée par ce système. Le facteur déterminant de cette supériorité reste la présence d'une nappe d'eau de bonne qualité pour l'irrigation (moins de 0.8 g de sols par litre) et proche de la surface (entre 2 m et quelques dizaines de mètres).

Le développement de la micro-irrigation a été accompagné par le développement de la fertigation y compris pour les engrais potassiques. Le raisonnement des pratiques de la fertilisation dans la zone est désormais une préoccupation majeure des agriculteurs bien que beaucoup d'entre eux raisonnent encore avec un esprit de "sécurité" en adoptant des apports pléthoriques pour assurer les rendements les plus élevés possibles sans se soucier des impacts qui en découlent sur la qualité des ressources en eau et des retombées potentielles négatives sur les rendements et sur la qualité.

Dans le cas des engrais potassiques, la tendance globale est vers l'utilisation des engrais simples notamment le sulfate de potasse qui malgré les problèmes relatifs de solubilité et des impuretés que peut contenir reste largement utilisé dans les exploitations ayant adopté l'irrigation localisée, il est même utilisé assez

### Références Bibliographiques

- HARRAK A. (1999) : "Bilan des travaux réalisés en matière de recherche sur le potassium dans le périmètre du Gharb" – journée-débats sur la fertilité et la fertilisation potassique des sols du Gharb – ORMVAG – Centre technique des cultures sucrières 16 mars 1999.
- HARRAK A. ; M. ZEHAUF et J. ENNAHARI (1991) : "Fertilisation de la canne à sucre dans le périmètre du Gharb : Synthèse des résultats sur 7 années d'expérimentation". Rapport ORMVAG 15p.
- ORMVAG (2003) "Données enquêtes sur les secteurs hydrauliques et pompages privés dans la zone d'action de l'ORMVAG" – Données ORMVAG.
- ORMVAG (1996) : "Fertilisation potassique du poivron sous tunnel" – Rapport d'activité de la station expérimentale agricole – M'nasra – pp 27 et 28.
- Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement (1999) "Projet de protection de l'environnement du bassin de Sebou – Sous Mission 2.1: Résultats des enquêtes sur l'utilisation des engrais et des pesticides" Etude menée par SCET – Maroc et AGRER.
- TAZI M. (1988) : "Caractérisation de la fertilité potassique des sols du Gharb et de la Chaouia" Thèse de 3ème cycle, DSS, IAV Hassan II – Rabat – Maroc.
- ZERAOULI M. ; M. BADRAOUI et BENTIYOU M. (1996) : "Evaluation des réserves et de la capacité de libération du potassium par les sols de la plaine du Gharb Hommes, terre et eaux V. 26 n° 101 mars 1996 pp 13-25.

souvent en fertigation mais comme "fertigation d'appoint" car le nitrate de potasse reste le plus utilisé en fertigation.

Toutefois, même pour ces types d'exploitation une proportion importante de potasse est appliquée sous forme solide. Par exemple, pour le fraisier dans la zone côtière 50% de la potasse est apportée sous forme de sulfate de potasse solide et 50 % sous forme de nitrate de potasse en fertigation, tandis que pour le bananier, où le micro-jet est le système d'irrigation le plus répandu, la fertigation n'y est que rarement pratiquée et c'est le sulfate de potasse qui est le plus utilisé.

Globalement, en tenant compte des tendances actuelles, le sulfate de potasse est amené à occuper une place de choix dans la fertilisation des cultures dans le Gharb, même en fertigation en raison de sa solubilité

(111g/l à 20°C) jugée acceptable par les utilisateurs et surtout pour son prix très avantageux (moitié prix) par rapport à son concurrent immédiat, le nitrate de potasse bien que ce dernier reste la source de potasse la plus adoptée en fertigation.

Le sulfate de potasse est aussi amené à combler les risques de déficience temporaire en potassium en zone de plaine où l'intensification culturale posera davantage le problème des stades critiques d'absorption maximale, car même si les sols lourds du Gharb sont jugés bien pourvus quantitativement en cet élément, rien ne rassure sur leurs aptitudes à libérer les quantités requises pendant les phases critiques, aussi courtes soient-elles, pouvant engendrer un manque à gagner en quantité et/ou en qualité. Le besoin en recherche dans ce domaine s'impose pour appréhender davantage la nutrition potassique des cultures dans le Gharb.

# FOLIAR POTASSIUM APPLICATION ON PISTACHIO TREE

M. Ben Mimoun<sup>1</sup>, O. Loumi<sup>1</sup>, M. Gharab<sup>1</sup>, K. Latiri<sup>2</sup> & R. Hellali<sup>3</sup>

## Abstract

The objective of this work was to evaluate the effects of potassium (K) fertilization on the vegetative growth, the fruit production and leaf mineral content of pistachio tree (*Pistacia vera* L.) under rainfed conditions. Several fertilizer methods and rates of application were applied in 2003 to Mateur pistachio variety. Both potassium nitrate and potassium sulfate were used. The foliar fertilizer rates were 50 and 100% of the tree requirement and for soil spreading the rates were 100% and 200% of the tree needs. A control was also observed with no fertilization as done by farmers on the experiments region (Sfax).

Potassium fertilization accelerated the maturation process only with potassium sulfate foliar fertilization, improved the nut quality (fruit weight and percentage of split nuts). Concerning the foliar diagnostic, K fertilization increased leaf potassium concentration with no effect observed on N, P and Mg leaf contents.

**Key Words:** pistachio tree, potassium, foliar fertilization, nuts quality

## 1. INTRODUCTION

The total pistachio (*Pistacia vera* L.) area has increased dramatically during the last 30 years to be closed to 43000 ha. However the average nut yields is still ridiculous. This situation is the results of many factor, one of them is the complete absence of fertilization practices.

Optimal potassium (K) nutrition is essential to maximize pistachio nut yields (Zeng et al, 1998). K is an essential mineral for production and quality (Soing, 1999).

The majority of the pistachio production occurs in arid or semi-arid regions where the trees are frequently affected by water stress. The soil moisture regime is one of the factors affecting the potassium release or fixation (Brown, 1995). So in summer, K availability is reduced in the production areas.

The foliar fertilization could be a solution to this problem. K is easily adsorbed and distributed through leaf tissues (California Fertilizer Association, 1998).

The objectives of this research were to study the effect of different potassium

fertilization methods on vegetative growth, pistachio nuts quality and leaf mineral content.

## 2. MATERIAL AND METHOD

This experiment was carried out at Taous, which is an Olive Institute experimental station located 26 km North of Sfax in the Center of Tunisia during year 2003. The region is characterized by a semi arid climate with an annual rainfall of 200 mm.

A commercial pistachio orchard of Mateur cultivar was used for this

experiment. The trees were twenty years old, 12 x 12 m density grafted on *P. vera* rootstocks and receiving all the usual horticultural cares.

The estimation of the tree requirement was made using the "Potassium Nitrogen Model" (Rosecrance et al, 2003) applied to the experimental orchard.

The fertilizers used were either potassium nitrate (KNO<sub>3</sub>) or potassium sulfate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

The different treatments used on this experiments were as indicated on table 1.

Treatments	Fertilizer	Method	Quantity
Control			
F50	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Foliar spray	50% of tree requirement
F100	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Foliar spray	100% of tree requirement
S100	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Soil spreading	100% of tree requirement
F50	KNO <sub>3</sub>	Foliar spray	50% of tree requirement
F100	KNO <sub>3</sub>	Foliar spray	100% of tree requirement
S100	KNO <sub>3</sub>	Soil spreading	100% of tree requirement
S200	KNO <sub>3</sub>	Soil spreading	200% of tree requirement

**Table 1.** The different potassium treatments

1. INAT, 43 Av. Charles Nicolle, 1082 Tunis-Mahrajène, Tunisia.

2. IO, Route Soukra Km 1.5, 3003 Sfax, Tunisia.

3. INRAT, 6,rue Hédi Karray, 2049 Ariana, Tunisia

The soil spreading was done on one application on April 24th 2003 during the flowering period.

The foliar fertilization treatments were applied using a 400l sprayer as follows:

1. 20% at the end of fruit set
2. 40% during the second fruit development stage (shell lignification)
3. 40% during the third fruit development stage (kernel growth).

Three blocs composed of three single tree replications of each treatment were used. The vegetative growth was measured once a month and the single leaf area after harvest with a laser area meter CI203, CID, INC. After fruit set, every 15 days fruit weight was measured on a sample of fruits from three clusters. At harvest, the fruit characteristics were measured.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Vegetative Growth and leaf area

The vegetative growth shows no differences between the treatments (Figure 1) as reported previously by Ashworth et al (1985) on the K effect on pistachio shoot growth. The higher vegetative growth for 100% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil spreading could be explain by the competition for assimilates between vegetative and fruit growth. The yield of the trees of this treatment is lower than the others (respectively 8 kg compare to 11 to 12 kg). Marra et al. (1998) show the effect of crop load on vegetative growth, the pistachio nuts is the major sink for assimilates.

The leaf area was enhanced by the foliar potassium spraying for both the fertilizer (Table 2). This increase could improve the source availability and so the offer of assimilates for the different sink and specially the nuts.

#### 3.2 Fruit maturity and quality

At harvest, the fruit maturity shows a variation ranging from a maximum of 70 % in 100% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foliar treatment to a minimum of 61% in KNO<sub>3</sub> soil spreading (Fig. 2). However no

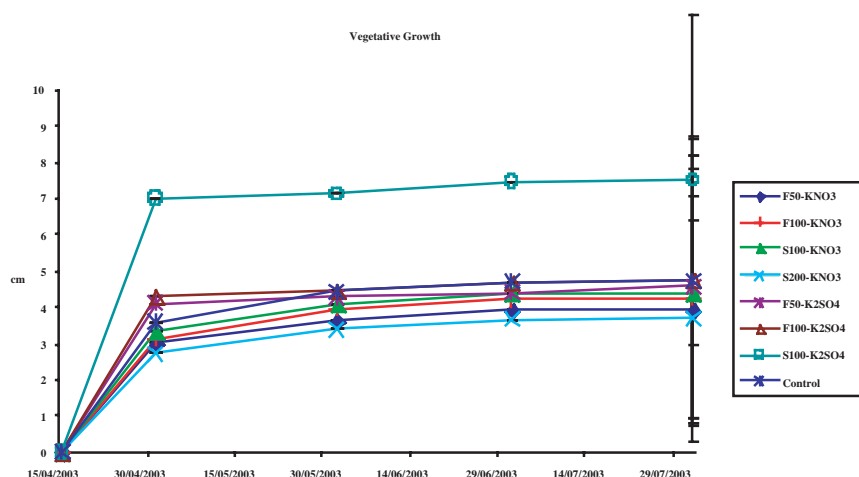


Figure 1. The shoot growth (cm) for the different potassium fertilization treatments

Treatments		Mean leaf area (cm <sup>2</sup> )
Control		103.13 <sup>a</sup>
KNO <sub>3</sub>	F50	141.54 <sup>de</sup>
	F100	131.61 <sup>cde</sup>
	S100	107.63 <sup>ab</sup>
	S200	118.43 <sup>abc</sup>
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	F50	123.34 <sup>bcd</sup>
	F100	143.98 <sup>e</sup>
	S100	122.00 <sup>abc</sup>

Test Duncan<sup>a,b</sup>

Table 2. The different potassium treatments effect on Leaf area (cm<sub>2</sub>)

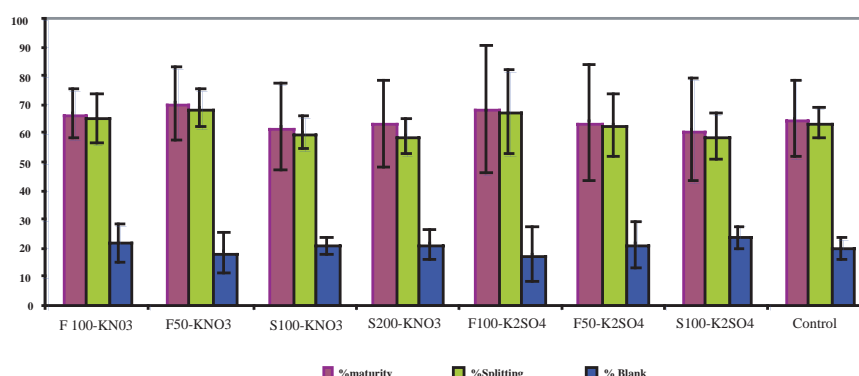


Figure 2. The fruit maturity, splitting and blank nuts percent for the different potassium fertilization treatments

## References

- Ashworth, L.J., Gaona, S.A., and Suber, E., 1985. Nutritional diseases of pistachio trees: Potassium deficiencies and chloride and boron toxicities. *Phytopathology*. 75:1084-1090.
- Brown, P.H. 1995. Diagnosing and correcting nutrients deficiencies. In *Pistachio production*. Centre for Fruit and Nut Crop Research and Information. UC. Davis. 95-100.
- California Fertilizer Association. 1998. *Western Fertilizer Handbook*, second horticultural edition, Sacramento, CA. 362 p.
- Marra, F.P., E., Barone, M., Motisi, M., Sidari, and T., Caruso 1998. Dry matter accumulation and carbohydrate content within branches of fruiting and deblossomed pistachio tree. *Acta Hort*. 470: 331-339.
- Rosecrance, R.C., S.A. Weinbaum and P.H. Brown 2003. Pistachio Nitrogen (N) and potassium (K) Fertilization Models. <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/PistachioNKModel>.
- Soing, P. 1999. Fertilisation des vergers : Environnement et qualité. CTIFL, Paris. 86 pp.
- Weinbaum, S.A., G.A. Picchioni, T.T. Muraoka, L. Fergusson, and P.H. Brown. 1994. Fertilizer Nitrogen and Boron Uptake, Storage, and allocation vary Durant the alternate bearing cycle in Pistachio trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 224-228.
- Zeng, D.Q., P.H., Brown., and R., Rosecrance 1998. Effects of alternate bearing, soil moisture and gypsum on potassium nutrition of pistachio (*Pistacia vera* L.) *Acta Hort*. 470: 412-420.

Treatment		Fresh weight	Kernel weight
Control		1.10 ab	0.57 a
KNO <sub>3</sub>	F100	1.18 bc	0.70 b
	F50	1.15 ab	0.66 b
	S100	1.09 a	0.60 a
	S200	1.11 ab	0.61 a
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	F100	1.26 c	0.71 b
	F50	1.11 ab	0.61 a
	S100	1.08 a	0.62 a

Test Duncan<sup>a, b, c</sup>

**Table 3.** The different potassium treatments effect on fruit pomological characteristics

Treatments	Foliar Content (%)				
	N	P	K	Mg	
Brown (1995) norms	2.30	0.14	1.00	0.60	
Control	1.34 <sup>b</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	0.66	
KNO <sub>3</sub>	F100	0.71 <sup>ab</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.65 <sup>bc</sup>	0.65
	F50	0.56 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.75 <sup>c</sup>	0.66
	S100	1.12 <sup>ab</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.65 <sup>bc</sup>	0.75
	S200	0.90 <sup>ab</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.55 <sup>b</sup>	0.70
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	F100	0.91 <sup>ab</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.65 <sup>bc</sup>	0.81
	F50	1.13 <sup>ab</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.67
	S100	0.80 <sup>ab</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.82 <sup>d</sup>	0.67

**Table 4.** The different potassium treatments effect on Leaf mineral composition compared to Brown. (1995) norms

statistical significant effect was observed. The same results were obtained for the pistachio splitting with a higher but not significant

The maximum fresh fruit weight was obtained with the K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foliar fertilization. It's significantly higher than all the other treatment weight (Table 3). Others research shows the K effect on fruit weight (Zeng et Brown 1998, Zeng et al., 1999 and 2001) however the effect was observed only

after three years of experiments.

The 100% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 50% and 100% KNO<sub>3</sub> foliar treatments enhanced the kernel weight. So the assimilates accumulation was higher for those treatments as shown by Weinbaum et al. (1994), potassium increases the kernel weight.

### 3.3. Leaf Analysis

The concentrations were consistently below the normal range showing an

important deficiency situation for all minerals analyzed except Mg (Brown, 1995).

The potassium applications increase the mineral content compare to the control. However, the optimal range was not achieved using Brown norms (1995). Ashworth et al. (1985) suggested the critical leaf K level for K deficiency in pistachio should be 0.7 to 0.9%, a more near value to our results. Nevertheless, our results could be explained by the wrong yield estimation made at the beginning of the season and used for the K tree requirement. The estimation was made based on 15 years yield average of the orchard (5 kg/ tree) and the obtained yield for 2003 was 11 kg /tree.

#### 4. CONCLUSION

K fertilization is expected to improve nut yield and quality in pistachio tree.

In this study the objective was to determine the effect of the K fertilization and the better application methods. During this first year of the experiments, foliar K fertilization improved the nut quality (fruit weight and percentage of split nuts). Mineral deficiencies were observed for N, P and K. Potassium fertilization increased leaf concentration with no effect observed on N, P and Mg leaf contents. However, the value remains under the optimal range.

Those experiments should be continued. Pistachio is a strong alternate bear tree with nut yield varying 3 to 5 times between "on" and "off" year, inducing a different K demand and uptake between years. In another hand, a lot of fertilizing experiments with fruit trees show a significant effect only after some years of application.

#### References

- Zeng, D.Q. and P.H. Brown. 1998. Effects of potassium application on soil potassium availability, leaf potassium status, nut yield and quality in mature pistachio (*Pistacia vera* L.) trees. California Pistachio Industry. Annual Report. 90-96.
- Zeng, D.Q., P.H. Brown and B.A. Holtz. 1999. Potassium Fertilization and Diagnostic Criteria for Pistachio Trees. *Better Crops*. 83 (3).
- Zeng, D.Q., P.H. Brown and B.A. Holtz. 2001. Potassium Fertilization Affects Soil K, Leaf K Concentration, and Nut yield and Quality of Mature Pistachio Trees. *HortScience*. 36: 85-89.

# FOLIAR POTASSIUM APPLICATION ON OLIVE TREE

M. Ben Mimoun<sup>1</sup>, O. Loumi<sup>1</sup>, M. Gharab<sup>1</sup>, K. Latiri<sup>2</sup> & R. Hellali<sup>3</sup>

## Abstract

The objective of this work was to evaluate the effects of potassium (K) fertilization on vegetative growth, fruit production and leaf mineral content of olive tree (*Olea europaea* L.) under rainfed condition. Different fertilizer, techniques and rates of application were applied in 2003 on Chemlali olive. The potassium fertilizer used was potassium nitrate. The foliar fertilizer rates were 50 and 100% of the tree requirement and for soil spreading the rates were 100% and 200% of the tree needs. A control was also observed with no applied fertilization as used on the experiments region (Sfax).

The results did not show any significant effect of treatment on olive vegetative growth. However, foliar treatment increases significantly leaf area. Foliar fertilization at 100% accelerates fruit maturation, increases fruit weight, pit ratio and polyphenol, respectively to 0.81g, 3.65 and 59.37ppm. No significant differences on fat content and acidic composition were observed. Leaf mineral analysis revealed that K fertilization increased significantly K foliar content with no differences for the others mineral elements (N, P, Mg).

**Key Words:** olive tree, potassium, foliar fertilization, quality, foliar analysis

## 1. INTRODUCTION

The olive tree (*Olea europaea* L.) is one of the major crops in Tunisia, planted from the north to the south of the country and covering an area of 1.6 Mha, corresponding to 33 % of agricultural area. However, current olive practices in Tunisia largely ignored the mineral nutrition especially in arid and semi arid zones. Potassium is a major element with an important effect on fruit yield and quality (Soing, 1999).

This element could be applied with different methods. The foliar application is helpful to satisfy plant requirement and has a high efficiency (Inglese et al. 2002). Potassium is easily adsorbed and distributed through leaf tissues (California Fertilizer Association, 1998). The foliar application is an attractive solution especially in arid zone under rainfall conditions where the lack of water in summer reduces drastically nutrient absorption by the tree.

The aim of this research was to study the effect of different potassium fertilization methods on vegetative

growth, olive and oil quality and on leaf mineral content.

## 2. MATERIAL AND METHOD

This experiment was carried out in an experimental station at the Olive Institute, in a fine sandy soil, located 26 km North of Sfax in the Center of Tunisia during year 2003. The zone is characterized by a semi arid climate with an annual precipitation of 200 mm.

A commercial olive orchard of Chemlali cultivar was used for this experiment. The tree 24 \* 24 m apart were grown using standard cultural practices for the Sfax region, i.e. under

rainfall condition and without any fertilization.

At the beginning of the season, an estimate of potassium requirement was made based on the yield (200 kg / tree) and the pruning wood. The potassium was applied by two different methods and on two quantities as indicated on table 1.

Potassium was applied as potassium nitrate KNO<sub>3</sub>.

The soil spreading was done on one application on April 22nd 2003 during the flower bud swell.

The foliar fertilization treatments were applied using a 400l sprayer as follows:

Treatments	Method	Quantity
Control		
F50	Foliar spray	50% of tree requirement
F100	Foliar spray	100% of tree requirement
S100	Soil spreading	100% of tree requirement
S200	Soil spreading	200% of tree requirement

**Table 1.** The different potassium treatments

1. INAT, 43 Av. Charles Nicolle, 1082 Tunis-Mahrajène, Tunisia.

2. IO, Route Soukra Km 1.5, 3003 Sfax, Tunisia.

3. INRAT, 6,rue Hédi Karray, 2049 Ariana, Tunisia

1. 30% during the flower bud swell
2. 40% during the second fruit development stage
3. 30% just at the beginning of the fruit color change.

Four single tree replications were used for each treatment. The vegetative growth was measured once a month and the single leaf area after harvest with a laser area meter CI203, CID, INC. After fruit set, every 15 days fruit weight was measured on a sample of 200 fruits (50 per tree). At harvest the oil was extracted using an oil mill on 4 samples of 2.5 kg olives per treatments.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Vegetative Growth and leaf area

No effect of the different potassium fertilization treatment was observed on vegetative growth (figure 1). However, the leaves of the two foliar treatments had a higher leaf area than the control and the treatments with K applied in soil fertilization (Table 2). This increase could enhance the leaf photosynthetic capacity, as mentioned by Bongi and Palliotti (1994), inducing a higher assimilates availability for fruit growth.

#### 3.2. Fruit maturity and quality

The pattern of fruit growth was not influenced by fertilization treatment (fig. 2) although fruit growth was higher during stage 3 for the 100% foliar treatment but this increase was not statistical significant. The same result was observed by Inglese et al (2002).

At maturity, fruit fresh weight and flesh to pit ratio were lower in untreated trees (Table 3). The higher value was observed for the 100% foliar treatment. This result could be a consequence of a higher assimilates availability.

Foliar nutrition decreased oil content in the fruit with no differences between the control and the soil fertilization.

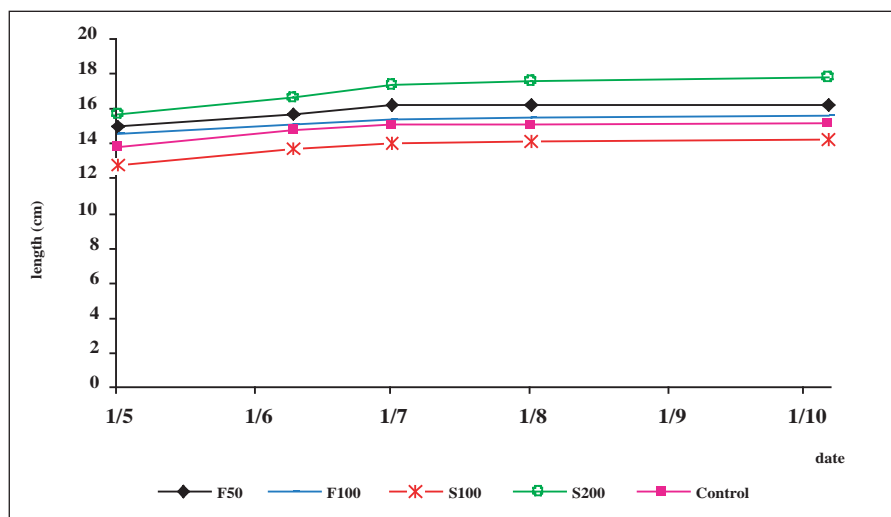


Figure 1. The shoot growth (cm) for the different potassium fertilization treatments

Treatments	Mean leaf area (cm <sup>2</sup> )	
Control	3.89 <sup>a</sup>	
KNO <sub>3</sub>	F50	4.38 <sup>b</sup>
	F100	4.36 <sup>b</sup>
	S100	3.94 <sup>a</sup>
	S200	4.24 <sup>a,b</sup>

Table 2. The different potassium treatments effect on Leaf area (cm<sup>2</sup>)

Treatments	Fruit Weight (g)	Flesh to Pit ratio	Oil content (%)	
Control	0.61 <sup>a</sup>	2.94 <sup>a</sup>	21.68 <sup>bc</sup>	
KNO <sub>3</sub>	F50	0.66 <sup>b</sup>	3.19 <sup>b</sup>	20.30 <sup>a</sup>
	F100	0.81 <sup>d</sup>	3.65 <sup>c</sup>	20.18 <sup>a</sup>
	S100	0.70 <sup>c</sup>	3.25 <sup>bc</sup>	21.26 <sup>b</sup>
	S200	0.69 <sup>bc</sup>	3.10 <sup>b</sup>	22.01 <sup>c</sup>

Test Duncan<sup>a, b, c</sup>

Table 3. The different potassium treatments effect on fruit pomological characteristics

The potassium fertilization decreases the chlorophyll content with lower value for foliar treatment, which could be an indication of fruit maturity. Lazzez et al. (2002) working with Chemlali cultivar observed a decrease from 6.7 ppm to traces during maturity process.

All the oil has an extra virgin quality; the highest value is 0.32 % lower than the 1% reference value for this quality (C.O.I, 1998). No significant

differences were observed for the polyphenols (Table 4). Inglese et al (2002) got the same results with KNO<sub>3</sub> treatment.

The oil chromatography analysis shows no effect of the potassium fertilization treatment (Table 5) as reported previously by Simeos et al. (2002) working on nitrogen and potassium fertilization effect on the qualitative profile of the oil.

## References

- Bongi, G and A. Palliotti. 1994. Olive. In Handbook of environmental physiology of fruit crops. Temperate Crops, eds. B. Schaffer and P.C. Andersen, CRC Press, Inc. 1: 165-187.
- California Fertilizer Association. 1998. Western Fertilizer Handbook, second horticultural edition, Sacramento, CA. 362 p.
- Conseil Oléicole International. 1998. Normes internationales commerciales de l'huile d'olive et de l'huile des grignons d'olive, C.O.I/T.15/NC N°2/ Rev.8.
- Freeman, M., K. Uriu, and H.T. Hartmann. 1994. Diagnosing and Correcting Nutrient Problems. In Olive production manual. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Pub 3353: 77-86.
- Inglese, P., G. Gullo, and L.S. Pace. 2002. Fruit growth and olive quality in relation to foliar nutrition and time of application. Acta Hort. 586: 507-509.
- Lazaz, A. 1999. Evolution of chlorophyllian Pigments, Minor compounds and Sterolic fraction extracted from oil of "Chemlali" variety during maturity. Acta Hort. 586: 571-574.

### 3.3. Leaf Analysis

The foliar analysis showed no effect of the treatment on N, P and Mg content (Table 6). However, for nitrogen and phosphorus the concentration were consistently below the normal range showing an important deficiency situation (Freeman et al., 1994).

For the potassium, the control concentration was approaching the

normal range. The potassium applications increase its mineral content to the optimum range with

## 4. CONCLUSION

higher values for foliar treatments.

In this study the objective was to determine the effect of the K

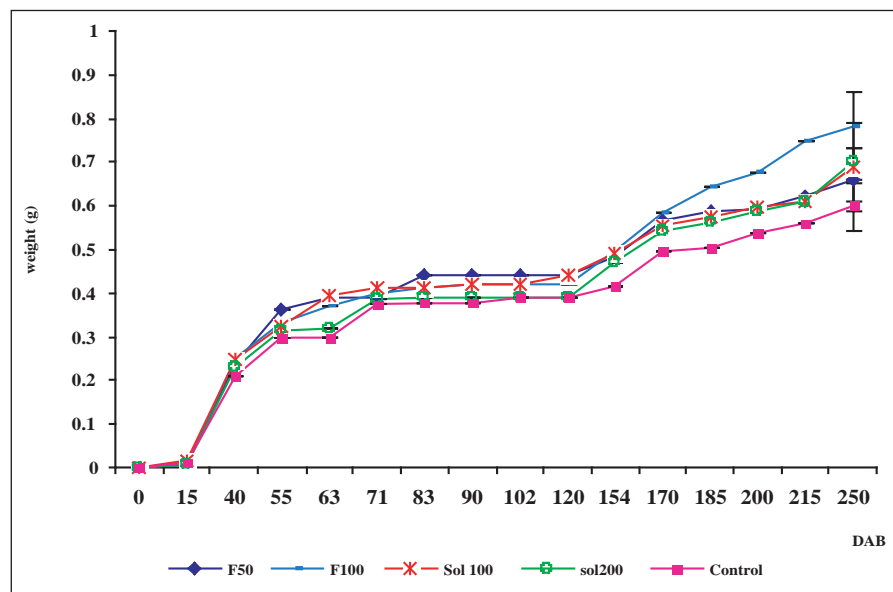


Figure 2. The fruit growth (g) for the different potassium fertilization treatments

Treatment	Chlorophyll content (ppm)	Acidity (%)	Polyphenols content (ppm)
Control	4.48	0.24	38.90
KNO <sub>3</sub>	F50	3.86	47.19
	F100	2.95	59.37
	S100	4.38	43.50
	S200	4.12	44.04

Table 4. The different potassium treatments effect on oil qualitative characteristics

Treatment	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1
Control	16.73	1.97	2.11	63.89	13.98	0.66	0.37	0.18
KNO <sub>3</sub>	F50	16.74	1.88	2.15	64.31	13.52	0.68	0.40
	F100	16.50	1.82	2.11	65.01	13.23	0.65	0.37
	S100	16.44	1.87	2.19	65.00	13.17	0.65	0.40
	S200	16.59	1.90	2.14	64.42	13.68	0.61	0.38

Table 5. The different potassium treatments effect on olive oil acidic composition

Treatments	Foliar analysis (%)			
	N	P	K	Mg
Freeman <i>et al.</i> (1994) norms	1.50-2.00	0.10-0.30	0.80	0.10
Control	0.84 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	0.13
F50	0.87 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.96 <sup>b</sup>	0.16
F100	0.77 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	1.01 <sup>b</sup>	0.15
KNO <sub>3</sub> S100	0.77 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>	0.96 <sup>b</sup>	0.17
S200	0.91 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	0.18

*Test Duncan<sup>a, b, c</sup>*

**Figure 2.** The fruit growth (g) for the different potassium fertilization treatments

fertilization and the better application methods. As with many fruit crops, K fertilization is expected to improve olive yield and quality. During this first year of the experiments, the potassium fertilization enhanced the fruit weight and the flesh to pit ratio while no significant effect was observed on vegetative growth, fat content and acidic composition of the extra virgin oil obtained. The better

results were observed with the 100% requirement foliar fertilization. Also the results show a potassium leaf deficiency for the control justifying K fertilization.

Those experiments should be continued for at least two other years. A lot of fertilization experiments on olive trees start showing results only after three years (Villalta, 1997).

## References

- Simoes, P., C. Pinheiro-Alves, A.M. Cordeiro, and M.E. Marcelo. 2002. Effect of the nitrogen and potassium fertilization on fatty acids composition and oxidative stability for "Carrasquenha" cultivar olive oil at different harvest periods-Preliminary study. *Acta Hort.* 586: 337-340.
- Soing, P. 1999. *Fertilisation des vergers: Environnement et qualité.* CTIFL, Paris. 86 pp.
- Villalta, L.C.L. 1997. Technique de la production. In *Encyclopédie Mondiale de l'olivier.* 1er eds, Conseil Oléicole International. 145-194.

# EFFECT OF VARIOUS POTASSIUM SULFATE RATES ON GROWTH, YIELD AND QUALITY OF POTATO GROWN UNDER SANDY SOIL AND ARID CONDITIONS

A. AL-Moshileh<sup>1</sup> & M. A. ERREBI<sup>2</sup>

## ABSTRACT

Potatoes require high amounts of potassium (K) fertilizer for optimum growth, production and tuber quality. Farmers and farming industries in the arid conditions and sandy soils of Saudi Arabia are applying K fertilizer to potatoes without attention to plant requirements. The objective of this study was to evaluate the effect of different potassium sulfate rates on vegetative and reproductive performance, tuber quality and total yield of potatoes grown on a sandy soil in the arid environment of Central Saudi Arabia. This field experiment was carried out during 2001-2002 Autumn season at the Experimental Farm of King Saud University in Al-Qassim region (latitude 26-27 N, longitude 44-45 E). The experimental layout was a randomized complete block design with 5 levels of Potassium Sulfate (KS) (ranging from 0 up to 600kg KS/ha) and 3 replicates. Increasing potassium sulfate rates resulted in a significant increase ( $p=0.05$ ) in plant height, leaf area, chlorophyll concentration, specific gravity, K concentration and carbohydrate content. Marketable tuber yield was also significantly improved with increasing potassium sulfate rates. Under conditions of this experiment, it is concluded that K is needed by potatoes for economic yield. The recommended rate for Qassim and similar regions is 450 kg potassium sulfate per hectare.

**Key words:** Potato, *Solanum tuberosum*, potassium sulfate, fertilization, K element vegetative growth, yield quality, potato production.

## 1. INTRODUCTION

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is the fourth most important world crop, after rice, wheat, and maize (Spooner and Bamberg, 1994). It is a major source of inexpensive energy. It contains high levels of carbohydrate and significant amounts of vitamins B and C and minerals. Moreover, potato is used in many industries, such as French fries, chips, starch and alcohol production (Abdel-Aal, et al., 1977).

In Saudi Arabia, potato is one of the most important crops, and Qassim region alone accounts for about half of the annual potato production in the country (Zaag, 1991). It is mainly produced on coarse textured calcareous soils in arid lands, and under center pivot irrigation systems. Average yields vary between 20 and 40 t/ha (Abdelgadir et al., 2003).

The crop is judiciously fertilized with N, P and K and other elements based mainly on practical experience as there is a lack of recommendations based on correlation/calibration research. Potato plants require much

more potassium than many other vegetable crops. Although most soils in Saudi Arabia are rich in K. Potassium fertilizer should be applied to sustain high yields (Zaag, 1991). An adequate supply of potassium strengthens stems to prevent lodging, increases yield and improves tuber quality (Beringer 1987; Ibrahim, et al., 1987 and Omran, et al., 1991). It also allows the crops to adapt to environmental stress. It promotes plant tolerance to insect infection and resistance to fungal disease.

From early studies, Terman (1950) pointed out that there was a consistent decrease in the starch content of potato tubers with increase in the rate of  $K_2O$  application. In a similar study Hart and Smith (1966) reported that dry matter of potatoes decreased with increasing K level. Excess K fertilizer was reported to reduce dry matter or specific gravity (Schippers, 1968; McDole, 1978 and Westermann et al., 1994a,b).

There is a general belief among farming communities in Saudi Arabia that a higher and a better quality yield of potato crop is always obtained

when K is added in quantities. Although the potato crop requires a heavy input of K for high yields (Errebhi et al., 1998), adequate levels should be established for economic yields and sustainable productivity. It is well documented that K affects potato quality and yield. Insufficient K results in reduced potato yield and smaller-sized tubers (McDole, 1978; Satyanarayana and Arora, 1985). Other workers found that a significant tuber yield responses to K fertilization (Westermann et al., 1994a and Panique et al., 1997).

Under the arid conditions of Wadi Ad Dawassir (latitude 20-21 N, longitude 45-46 E), Saudi Arabia, Abdelgadir et al. (2003) found that application of 215 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> was sufficient to produce economic yield and high quality potatoes. On the other hand farming industries (Nadec, 2003) are applying rates higher than those reported by Abdelgadir et al. (2003).

Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different rates of potassium sulfate,  $K_2SO_4$ , (50%  $K_2O$ ) on plant vegetative performance, tuber quality and total

1. Department of Plant Production and Protection, College of Agriculture and Veterinary Medicine. Al-Qassim University, Saudi Arabia.

2. Saudi Basic Industries Corp., Industrial Complex for Research and Development, P. O. Box 42503 Riyadh, 11551 Saudi Arabia.

## References

- Abdel-Aal, Z.S.; Khalf-Alla, A.a.; Al-Shal, M. and Abd-al-Qader, M. 1977. "Vegetables Production" Part 2. Dar. Al-Madboat. Al-Jadida, Publisher Alexandria, A.R.E. pp. 15-57.
- Abdeldagir, A. H., M. A. Errebhi, H. M. Al Sarhan, and M. Ibrahim. 2003. The effect of different levels of additional potassium on yield and industrial qualities of potato (*Solanum tuberosum* L.) in an irrigated arid region. *Amer. J. of Potato Res.* 80:219-222.
- Beringer, H. (1987). Tuber growth of potato in relation to soil moisture and K nutrition. Abstracts 14th Int. Bot. Congr. Dt. Bot. Ges. Berlin/FR Germany. Abstract Book.
- Chapman, K. S. R., L.A. Sparrow, P. R. Hardman, D. N. Wright, and J. R. A. Thorp. 1992. Potassium nutrition of Kennebec and Russet Burbank potatoes in Tasmania: Effect of soil and fertilizer potassium on yield, petiole and tuber potassium concentrations and tuber quality. *Australian J. Exp. Agric.* 32:521-527.
- Davenport, J. R., and E. M. Bentley. 2001. Does potassium fertilizer form, source, and time of application influence potato yield and quality in Columbia basin? *Am. J. Potato Res.* 78:311-318.
- Edgar, A.D. 1951. Determining the specific gravity of individual potatoes. *Am. Potato J.* 28: 729-731.
- Errebhi, M., C. J. Rosen, S. C. Gupta, and D. E. Birong. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agron. J.* 90:10-15.
- Hart, T. G. and O. Smith 1966. Effect of levels sources of potassium on absorption of phosphorus by potatoes. *Lants. Am. Potato J.* 43: 217-235.
- Ibrahim, S.A., El-Zawily, A.I. and Zayed, E.A. 1987. Effect of NPK level and ratio on growth, yield and chemical composition of potato plants grown in sandy loam soil. *Egypt. J. Soil Sci.* 27(2): 131-144.

yield of potatoes grown in a sandy soil under arid environmental conditions.

## 2. MATERIALS AND METHODS

Plant material and experimental design : This study was conducted during the autumn season of 2001-2002 at the Experimental farm of the College of Agriculture and Veterinary Medicine, King Saud University, Al-Qassim region (latitude 26-27 N, longitude 44-45 E), Kingdom of Saudi Arabia. Soil samples were collected prior to planting at 0-20 cm depth and their properties were given in Table 1. Experimental area was divided in to 15 plots separated by 1 m as border. Plot size was 4 x 3 m. Plots were arranged in a randomized complete block design, with 3 replications.

All plots received basic application of 250 kg N and 250 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Five treatments (0, 150, 300, 450, and 600 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) were therefore studied. Granular fertilizers were hand spread before planting. Phosphorus source was di-ammonium phosphate, applied at once before planting. Nitrogen source was urea 46-0-0, split 10 times to minimize leaching and volatilization in the sandy calcareous soil and delivered

through the drip irrigation system. Pre-sprouted tubers of cultivar Ajax were planted in rows (75 cm apart) at 30 cm spacing between plants. Planting date was 18 September 2001. Irrigation water samples were also collected and analyzed for EC and pH (Table 1).

During the growing season, plant height, leaf area, chlorophyll and carbohydrate content were determined. Harvesting was carried out on 10 January 2002. Potato tubers were then graded visually into marketable (>3.5 cm in diameter) and cull (<3.5 cm, bruised, green or sprouted tubers). Marketable and total tuber yield were determined by weight, and only marketable tuber data is reported in this manuscript. Potato tuber samples were then collected from all treatments for dry matter, specific gravity, percent carbohydrates and K content determinations. Specific gravity was determined by the hydrometer method on a 5.0-kg subsample of the marketable potatoes (Edgar, 1951).

Statistical analysis was performed on all data using analysis of variance and for treatments comparison, least significant difference at 0.05 probability was used.

Analysis	Soil	Water
Sand (%)	96.3	-
Silt (%)	1.8	-
Clay (%)	1.9	-
Texture	sandy	-
PH <sub>c</sub> <sup>1</sup>	8.4	7.1
EC (mS/cm)	-	1.5
	Nutrient (µg/g) <sup>2</sup>	
Total N	15	-
P	16.5	-
K	36	-

1 pH in saturated paste extract.

2 P by Olsen method.

3 K by NH<sub>4</sub>OAc at pH 7.

**Table 1:** Physicochemical characteristics of soil and water used in the study

## References

- James, D. W., W. H. Weaver, R. L. Reeder. 1968. Soil test index of plant available potassium and the effects of cropping and fertilization in central Washington irrigated soils. Washington Agric. Exp. Station, Bull. 697.
- Lal, B. and K. B. Singh. 1983. Effect of potassium on the quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). Agric. Sci. Digest. 3: 30-33.
- McDole, R. E. 1978. Potassium fertilizer tails with potatoes in coarse-textured soils in southern-eastern Idaho. Am. Potato J. 55: 161:170.
- Nadec. 2003. Crop yield data: potatoes. In Annual report, 2003; Central Region, Wadi Ad Dawassir, Kingdom of Saudi Arabia.
- Omran, M.S., Taysee, M., El-Shinnawi, M.M. and El-Sayed, M. M. 1991. Effect of macro – and micro-nutrients application on yield and nutrients content of potatoes. Egypt. J. Soil Sci. 31 (1): 27-42.
- Panique, E., K.A. Kelling, E.E. Schulte, D. E. Hero, W.R. Stevenson, and R.V. James. 1997. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. Am. Potato J. 74: 379-398.
- Rhue, R. D., D. R. Hensel, and G. Kidder. 1986. Effect of potassium fertilization on yield and leaf nutrient concentrations of potatoes grown on a sandy soil. Am Potato J. 63:665-681.
- Satyanarayana, V., and P.N. Arora. 1985. Effect of nitrogen and potassium on yield and yield attributes of potato (var. Kufri Bahar). Indian J. Agron. 30: 292-295.
- Schippers, P.A. 1968. The influence of rates of nitrogen and potassium application on yield and specific gravity of four potato varieties. European Potato J. 11:23-33.
- Spooner, D. M., and J. B. Bamberg. 1994. Potato genetic resources: sources of resistance and systematics. Am. Potato J. 71:325-338.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Plant growth parameters:

Plant height was significantly affected by K rate. The highest reading was reached when 450 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> were applied (Table 2). Leaf area ranged from 1127.66 cm<sup>2</sup> per plant at no potassium applied to 2603.33 cm<sup>2</sup> per plant with application of 600 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Highest significant area was obtained with 600 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. The number of stems per plant, however, was not affected by K rate.

### 3.2. Tuber yield and quality parameters

Tuber potassium content increased significantly with K rates to reach a statistical maximum of 2.09 % at K rate of 450 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. Carbohydrate percent was increased significantly with K rates. The highest level was reached with application of 450 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. Specific gravity was also affected by K rates. These findings are not in accordance with reports by McDole (1978) and Westerman et al. (1994a) who found that the specific gravity of potato

tubers decreased with increasing rates of K fertilizers. In addition, our results did not agree with those of Davenport and Bentley (2001) and Abdelgadir et al (2003) who found that specific gravity did not respond to K application.

Marketable tuber yield increased significantly ( $p < 0.05$ ) with increasing K rates until 450 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. Higher K rates did not improve yield. These results agree with earlier reports by James et al. (1968), McDole (1978), Lal and Singh (1983), Rhue et al. (1986) and Chapman et al. (1992). Marketable tuber yield for K fertilized plots ranged from 21.53 to 31.96 tons ha<sup>-1</sup>. These yield ranges are within the 20 to 40 kg ha<sup>-1</sup> yields for Saudi Arabia; they are also comparable to yield data reported by Abdelgadir et al. (2003) for Wadi Ad Dawassir (latitude 20-21 N, longitude 45-46 E), Saudi Arabia.

## 4. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

Plant growth indicators, plant nutritional status, and tuber quality parameters responded positively to K

Treatment (kg K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> plant <sup>-1</sup> )	Number of stems (per plant)	Chlorophyll (%)
0	28.00	1127.66	4.0	25.00
150	28.66	1502.66	4.3	27.66
300	39.33	1797.00	3.7	31.00
450	46.33	2504.00	4.7	40.33
600	47.33	2603.33	4.3	43.00
LSD (0.005)	5.48	159.43	NS	4.46

**Table 2:** Effect of different levels of potassium sulfate on vegetative performance of potato plant

Treatment (kg K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> )	Specific gravity	Carbohydrates (%)	K (%)	K Yield (Ton ha <sup>-1</sup> )
0	1.067	36.66	1.08	17.91
150	1.069	39.66	1.17	21.53
300	1.069	42.66	1.71	28.66
450	1.084	50.66	2.09	31.90
600	1.086	51.33	2.12	31.96
LSD (0.05)	0.003	1.65	0.21	2.43

**Table 3.** Effect of different levels of potassium sulfate on tuber specific gravity, carbohydrates, potassium concentration and marketable yield.

application rates. Marketable tuber yield was significantly affected by K fertilizer levels. Highest yield and other quality parameters were achieved when a rate of 450 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ha-1 was used. We recommend that, for Qassim and similar regions in Saudi Arabia, farmers apply potassium sulfate at the rate of 450 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ha-1 for optimum yield.

### References

- Terman, G. L. 1950. Effect of rate and source of potash on yield and starch content of potatoes. Results over 20-years period. The main Agric. Exp. Sta. Orono, Main Bull. 481: 6.
- Westermann, D.T., D.W. James, T.A. Tindall, and R. L. Hurst. 1994a. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Yield and specific gravity. Am. Potato J. 71:417-432.
- Westermann, D.T., D.W. James, T.A. Tindall, and R. L. Hurst. 1994b. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Sugars and starch. Am. Potato J. 71:432-452.
- Zaag, D.E. 1991. The Potato Crop in Saudi Arabia. Saudi Potato Development Program. Ministry of Agriculture and Water, Riyadh. Saudi Arabia.

# EFFECT OF POTASSIUM FERTILIZATION REGIMES ON PETIOLE NUTRIENT CONTENTS, YIELD AND FRUIT QUALITY OF TABLE SEEDLESS GRAPES

A. AL-Moshileh<sup>1</sup> & D. Al-Rayes<sup>1</sup>

تمت دراسة مدى استجابة أشجار العنب عديم البذور للمستويات المختلفة من التسميد البوتاسي (صفر، 500، 1000، 1500 كجم/هكتار) وعلاقته بكمية المحصول وجودة الثمار ومحتوى أعناق الأوراق من العناصر الغذائية. ولقد أجريت التجربة على أشجار عنب عديم البذور عمرها 15 سنة، نامية في أراضي رملية تحت ظروف بيئية شبه قاحلة. ولقد تم خلال الدراسة قياس محتوى أعناق الأوراق من العناصر الغذائية المختلفة (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والنحاس والحديد والصدويوم والكلور). وأيضاً تم تقدير كمية المحصول وجودة الثمار.

ولقد ظهرت نتائج تحليل أعناق الأوراق أن إضافة البوتاسيوم بمعدلات عالية (1500 كجم/هكتار) قد سبب زيادة معنوية في محتوى هذه الأعناق من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والنحاس والصدويوم والكلور، إلا أنه قد تسبب في حدوث نقص معنوية في محتوى أعناق الأوراق من الحديد مقارنة بالأشجار الغير المعاملة. ولقد أوضحت النتائج وجود تباينات كبيرة في محتوى أعناق الأوراق من العناصر الغذائية المختلفة (سواء التي تأثرت سلباً أو إيجاباً) نتيجة لاستخدام التركيزات المختلفة من السماد البوتاسي. ولقد أظهرت النتائج وجود ارتباط واضح بين كمية السماد البوتاسي المضاد ومحتوى أعناق الأوراق من البوتاسيوم، وذلك في جميع تركيزات السماد البوتاسي المستخدمة. ومن ناحية أخرى، فبالرغم من زيادة تركيز عناصر النيتروجين والفوسفور والكالسيوم والنحاس والصدويوم والكلور بأعناق الأوراق مع زيادة السماد البوتاسي، إلا أن هذه الزيادة قد ثبتت عند مستوى 1000 كجم سماد/هكتار ولم تكن هناك زيادة معنوية في محتوى أعناق الأوراق من هذه العناصر الغذائية عندما تم زيادة كمية سماد من 1000 إلى 1500 كجم/هكتار. كما أظهرت النتائج وجود زيادة معنوية في كمية المحصول وكذلك في النسبة المئوية للمواد الصلبة الذائبة بعصير الثمار نتيجة زيادة مستويات التسميد البوتاسي، في حين نقصت النسبة المئوية الحموضة معنوياً نتيجة لزيادة معدلات التسميد البوتاسي مقارنة بالأشجار الغير المعاملة.

الكلمات المفتاحية: *Vitis vinifera* L., كبريتات البوتاسيوم، بوتاسيوم، الأسمدة، انتاج العنب.

## ABSTRACT

*The response of vine grapes to graded doses of potassium fertilizer (0, 500, 1000 and 5000 Kg/ha) in relation to fruit yield, quality and petiole-nutrient status of mineral nutrients was studied. Grape vines cv. Thompson Seedless (Vitis vinifera L.) of 15-year-old were grown in a sandy soil under semi-arid environmental conditions. Leaf petiole chemical composition (N, P, K, Ca, Cu, Fe, Cl and Na), total yield, and fruit quality were studied. Leaf petiole analyses indicated that K applied at high levels caused a significant increase in leaf petiole contents of N, P, K, Ca, Cu, Cl and Na, but reduced Fe compared with the control. Both the increments and the reductions which occurred in the chemical composition of the leaf petiole contents varied according to K doses. K level increased significantly under all K doses. However, the level of petiole content of N, P, Ca, Cu, Cl and Na increased up to 1000 kg/ha treatment and was maintained constant with the higher concentrations. Higher levels of K fertilization increased total yield significantly. Total soluble solids percentage in fruit juice increased with the enhancement of K levels. The total acidity percentage in fruit juice was decreased compared with the control treatment.*

**Key words:** (*Vitis vinifera* L.), potassium sulphate, K Element, TSS, petiole chemical analysis, fertigation.

## 1. INTRODUCTION

Grapes are very important fruit crop in Saudi Arabia as well as it is widely grown in the middle east and other countries. In Saudi Arabia Grapes ranked thirdly after date palms and citrus. The total area planted with grapes in 2002 was 6996 ha. and produced 92000 Tons (Ministry of Agriculture, 2004). Grapes are usually grown in sandy to sandy loam soils and drip system irrigated, Under Qassim conditions, no potassium fertilization regime is used by farmers, without considering the requirements of the cultivars.

In terms of the importance of potassium fertilization for grape vines,

it is well known that potassium fertilization is very essential especially in low organic matter soils, such as Qassim conditions. Even with optimum levels of nitrogen and phosphorus, poor vegetative growth, yield and fruit quality could be attributed to low levels potassium, (Ahlawat and Yamdagni, 1988). An excess amount of potassium can lead to a deficiency of some other nutrients such as magnesium (Mg), accordingly, special attention should be paid to avoid unnecessary excessive amount of potassium. Grapes require a larger quantity of potassium compared with some other fruit trees. In the absence of petiole analysis, 400 kg/ha of muriate of potash (0-0-60) every 2nd year on clay soil and 200 kg/ha every

year on sandy soil may be adequate, (Klen et al., 2000).

Many investigators such as Hillebrand (1978), Kilani (1979), Haeseler et al. (1981), Boidron (1986), El-Sese et al. (1988), Dhillon (1999) and Klen et al. (2000), reported that potassium fertilization increasing the yield of vine as a result of increasing fruit set, number of cluster and cluster's weight. Moreover, potassium fertilization improved fruit quality as indexed by increasing both T.S.S. and sugar content, Gopalswamy and Rao (1972), Hillebrand (1978), Morris et al. (1987), Kilani (1979) and Ahlawat and Yamdagni (1988).

The aim of this investigation is to throw light on the effect of potassium

1. Department of plant production and protection, College of Agric. and Vet. Med., Al-Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia.

as a fertigation application on growth, yield and petiole composition of grapes cv. Thompson seedless and fruit quality under the semi arid condition of Al-Qassim area, Central Saudi Arabia.

## MATERIALS AND METHODS

This study was carried out during spring seasons of 2002 and 2003 at the vineyard of Research Station of the College of Agric. and Veterinary Medicine, Al-Qassim University, Saudi Arabia. The experimental soil was sandy with chemical and physical properties shown in Table 1. This study was carried out in an area located at an altitude of 724m.a.s.l., latitude of 26°, 4 and longitude of 43°, 59. The climate of Al-Qassim region is characterized by very hot dry summer and mild to cool winter (Abd el-Rehman & Balegh, 1974). Al-Qassim region has a maximum annual mean temperature range of 19.5-33°C, an overall maximum mean (15 years) of 29°C, the minimum annual mean temperature range of 7.5-17.3°C. The maximum annual mean RH% range is 33-62% and the overall (15 years) maximum RH% is 43.3%. The minimum annual mean RH% range is 15-30% and the overall minimum mean (15 years) RH% is 18.3%. The mean annual of precipitation range is 47.8-349 mm, and the overall mean (15 years) precipitation is 123.7 mm. The mean annual evaporation range is 3257-4664 mm, and the overall mean (14 years) evaporation is 3859 mm. Irrigation water has an average pH of 7.11 and the total soluble salts were 945ppm.

This experiment included 4 potassium fertilization treatments arranged in a randomized complete block design with three replicates. Seedless table grape vines were planted at spacing of 2 X 3 m and trained to a Y-shaped trellis. All vines were annually winter pruned at mid of February so that every vine had 12 fruit spurs of 6-buds each.

Four potassium levels (0, 500, 1000 or 1500 kg/ha) were added as sulfate of potash with irrigation water

Chemical properties		Physical properties	
PH:	8.20	Fractions (%):	
ECe (ms):	2.06	Sand: 5.30	
Soluble cations (meq.L <sup>-1</sup> ):		Silt : 3.60	
Na <sup>+</sup>	11.00	Clay : 1.10	
Ca <sup>2+</sup>	4.35		
Mg <sup>2+</sup>	2.50		
Soluble anions (meq.L <sup>-1</sup> ):		Texture: Sandy soil	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.99		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11.70		
Cl <sup>-</sup>	7.60		
CaCO <sub>3</sub>		4.00%	
Organic matter:	0.23%		

\* pH of H<sub>2</sub>O (soil : water = 2.5 : 1).

\*\* ECe = Electric conductivity of the extract.

**Table 1:** Chemical and physical analyses of the experimental soil.

(fertigation). The fertilizers were applied in split doses in March, May and July, 2002 and 2003.

### Measurements

In order to find out the seasonal variation of the concentration of different macro and micro elements in leaf petiole tissues, samples were collected starting from May to September, 2002 and 2003. In established plantings, petiole analysis in grapes is the best method of determining nutrient needs. The nutrient levels in these plant tissues most accurately reflect the uptake of nutrients by the crop, (Shikhamany et al., 1988, Dhillon et al., 1999, and Patel and Chadha, 2002).

Harvesting of clusters (yield) was done when T.S.S. of the fruit juice reached 20:1 as recommended by Abdelal et al. (1978) and El-Sese et al. (1988). The gross yield in Kg/vines was recorded. Total soluble solids contents (T.S.S.) were measured using a hand refractometer.

All data were statistically analyzed according to Snedecor and Cochran (1980) with the aid of COSTAT computer program for statistics. Differences among treatments were

tested with LSD at 5% level of significance. Compined data for the two years, 2002 and 2003 is reported.

## RESULTS AND DISCUSSION

Data presented in Figures 1, 2 and 3 indicate that there was a positive proportional relationship between leaf petiole contents of nitrogen, phosphorus and potassium and the applied amount of potassium fertilizer. A significant increase in leaf petiole content of N, P and K was observed as potassium fertilizer rate was increased. The data revealed that there was two clear peaks in May and July. These increments could be occurred due to the time of K fertilizer application (the 2nd and the 3rd doses in early May and early July, respectively). The Leaf petiole analysis showed that the highest values of the major macro elements (N, P and K) was achieved in mid July. This could be ascribed to the high temperature during that month which can cause a high evapotranspiration and lead to increase the concentration of solid elements in leaves and petioles. Element values were declining towards the end of the experiment when the temperature

getting cooler. This is in an agreement with findings by Dhillon et al. (1999).

The concentration of nitrogen in leaf tissues increased significantly by increasing potassium dose application (Fig. 1). The highest value of nitrogen concentration was observed at the middle of July, then a reduction occurred towards the harvest period. This may be due to the activity of photosynthesis in summer and to senescence of the leaves at the end of the season. Similar to this findings was reported by Hunter et al (1994) and by Patel and Chadha (2002).

Leaf petiole content of Ca, ( Fig. 4), increased consistently with the advancement of the season which might be as a result of increased requirement of Ca for cell wall synthesis (Shikamany and Salyana-raayana, 1972 and Patel and Chadha, 2002), or might be due to the high transpiration (Bertamini et al., 1995).

The greatest yield was obtained potassium sulfate was applied at the rate of 1500 Kg/ha (Fig. 5). Total soluble solids, also increased with the enhancement of K levels (Fig. 5). Tzolova and Christov (1996) reported that the applied K fertilizers even in stock form significantly increased grape yield.

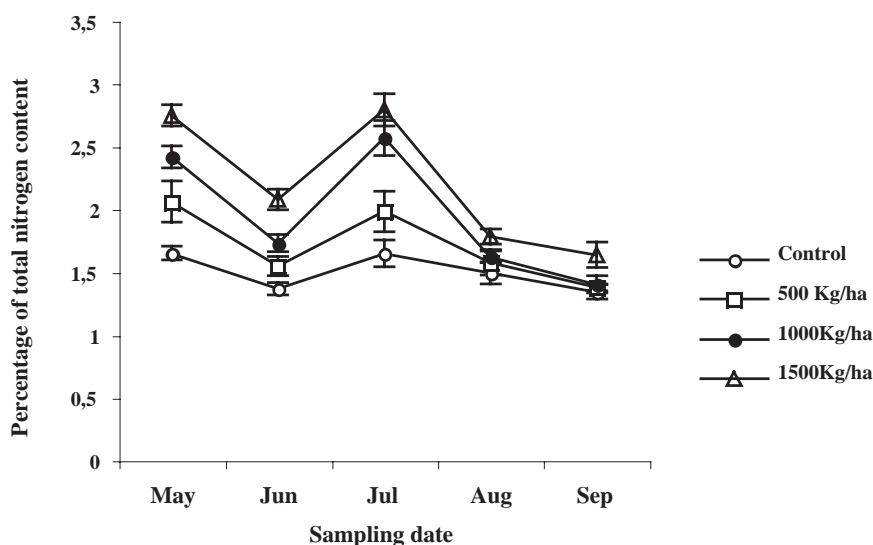
Like other elements, as k rate increased, the concentration of chloride content in petioles increased (Fig. 6), as Cl raised sharply at the middle of July and started to decline towards the end of harvesting time. No significant variation in concentration of chloride content in petioles at the middle of August and September. That's could be ascribed to the low photosynthetic activity of the old grape leaves.

Petiole Cu content increased significantly as potassium fertilization doses increased (Fig. 7). No significant differences were observed between 1000 and 1500 levels. The is a slight reduction in Cu concentration thereafter with the advancement of the season.

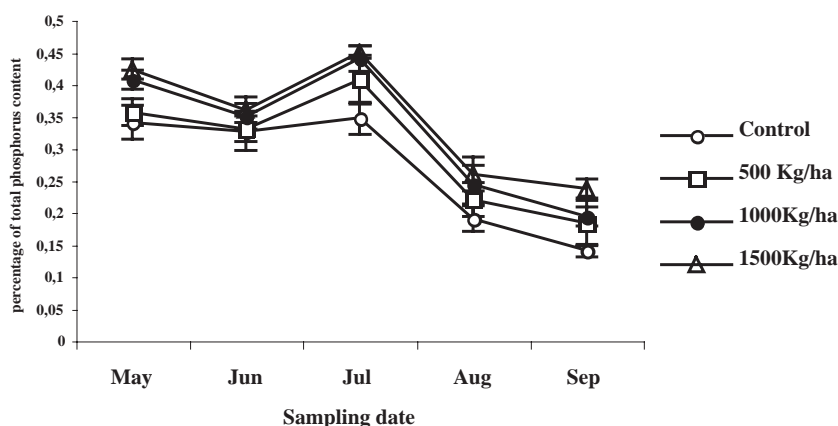
On the other hand, Iron is the only element in this study showed an

opposite response with potassium application (Fig. 8). As potassium fertilization level increased, the concentration of iron content in petioles decreased. On the other hand and in relation to potassium application and sampling time, the concentration of Fe decreased throughout the season. This result is in agreement with the observation made by Shikhamany et al (1988), who found that high levels of K

fertilization were associated with reduced Mg and Fe content in Thompson Seedless grape. A large variation is noticeable in concentration of sodium content in grapevine petioles between the control treatment and other treatments (Fig. 9). In relation to potassium application and sampling time, the highest level of Na was observed at the middle of July and started to decline towards the end of the season.



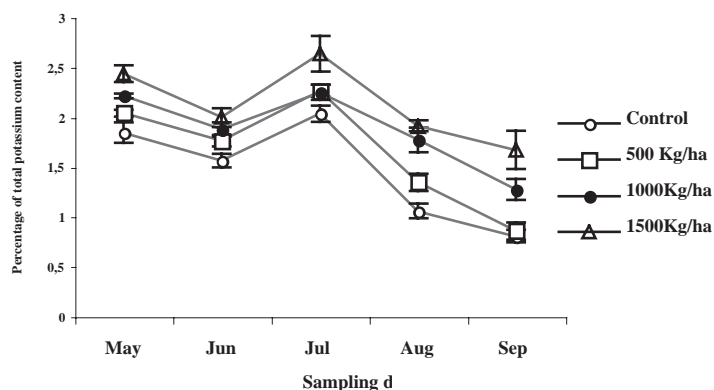
**Figure 1.** Variation in concentration of nitrogen content in petioles in relation to potassium application and sampling date.



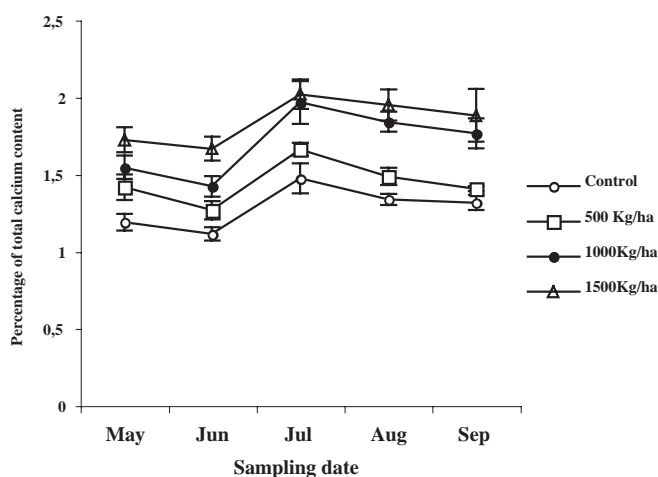
**Figure 2.** Variation in concentration of phosphorus content in petioles in relation to potassium application and sampling time.

## REFERENCES

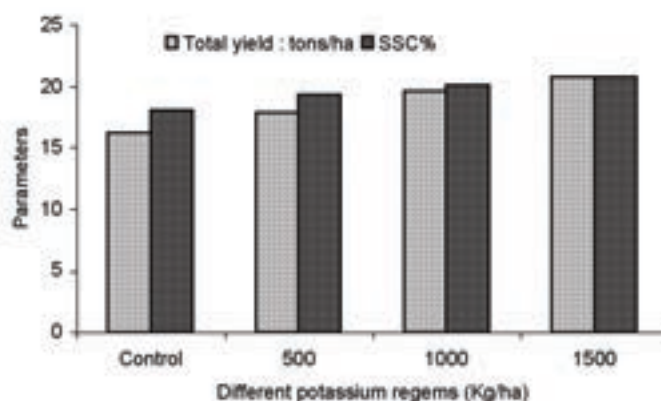
- Abdelal, A.F.; M.A. Hussein and A.M. El-Sese (1978) Physiological studies on storage of some grape varieties (*Vitis vinifera* L.) in Upper Egypt. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 8: 59-79.
- Abd el-Rahman, A. A. and Balegh, S. E. (1974). Analysis of climatic element in Saudi Arabia. *Bull. Fac. Sci. Univ. Riyadh*. 6: 98-123.
- Ahlawat, V.P. and R. Yamdagni (1988) Effect of various levels of nitrogen and potassium application on growth, yield and petiole composition of grapes cv. Perlette. *Progressive Horticulture*. 20: 3-4, 190-196.
- Bertamini, M.; Tardaguila, J.; Camprotrini, F.; Tagliavini, M. (ed.) Neilsen, G.H. and Millard, P. (1995) Effect of canopy manipulation and ecophysiological conditions on leaf nutrient status, gas exchange and leaf vitality in grapevines. *Acta Horticulturae*, No. 383, 281-288.
- Boidron, R.; J.P. Goursaud and P. janny (1986) Fertilizer trial with chardonnay in the Moan region. *Progress Agricole et Viticole* 103 (3) 67-70 *Hort. Abst.* 65 (6); 4117.
- Cummings, G.A. (1977) Variation in the concentration of certain elements in muscadine grape leaves related to season, leaf position and age. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 339-342.
- Dhillon, W.S., Bindra, A.S. and Brar, B.S. (1999) Response of grapes to potassium fertilization in relation to fruit yield, quality and petiole nutrient status. *Journal Indian Society of Soil Science*. 47: 1, 89-94.
- El-Sese A.M; El-Agamy S.Z. and M. A. Hussein (1988) Effects of potassium applications on the yield and fruit quality of table Banati grapes (*Vitis vinifera*, L.). *Assiut Journal of Agricultural Sciences*. 1988, 19: 2, 247-258.
- Gopalswamy, N. and V.N.M. Rao (1972) Effect of graded doses of potash on yield and quality of grapes (*Vitis vinifera* L.) var. Anab El-Shahi. *South Indian Hortic.* 20; 41- 49 *Hort. Abstr.* 44 (3): 1467.



**Figure 3.** Variation in concentration of potassium content in petioles in relation to potassium application and sampling time.



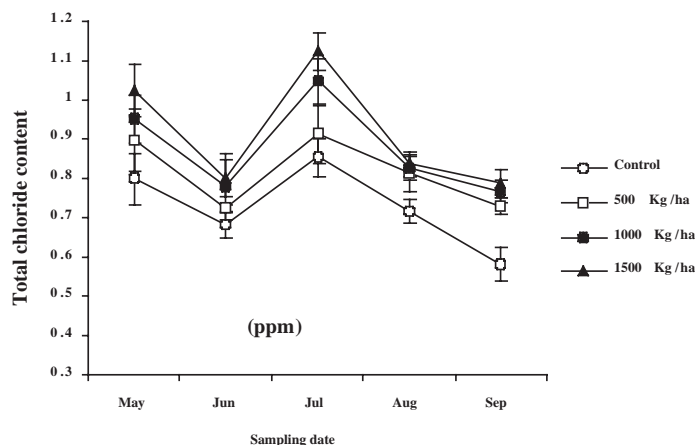
**Figure 4.** Variation in concentration of calcium content in petioles in relation to potassium application and sampling time.



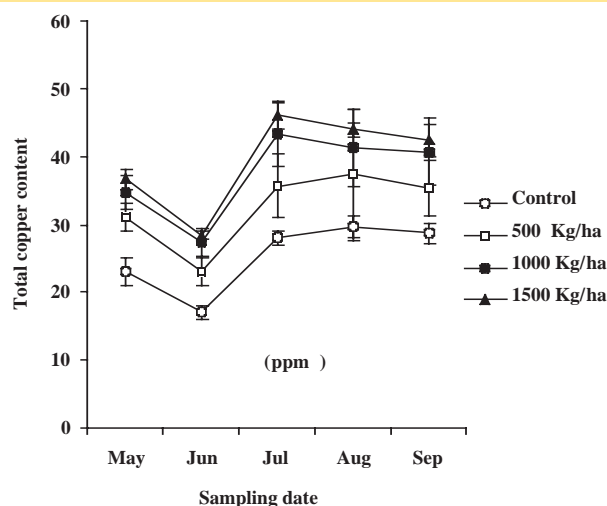
**Figure 5.** Effect of different potassium fertilization regimes on total yield and percentage of soluble solid contents in fruit of Thompson seedless grapes.

## REFERENCES

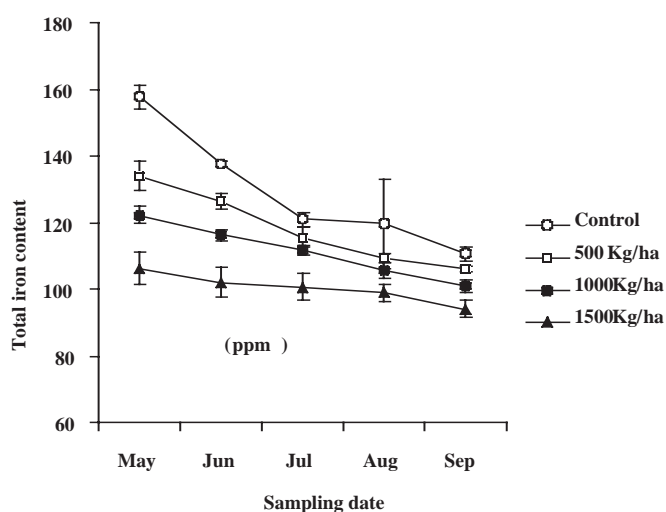
- Habeeb, H.; I. Mostafa and A. Shafeek (1976) Effect of P and K on Italian grapevine behaviour. Agric. Res. Review, 54 (3): 23-27, Hort. Res. Institute, Cairo, Egypt.
- Haeseler, C.W; C.B. Smith; L.T. Kardos and H.K. Fleming (1981). Response of mature vines of *Vitis labrusca* L. cv. Concord to applications of phosphorus and potassium over an eight-year span in Pennsylvania. Am. J. Ecol. And Vitic. 31 (3) ; 237- 244.
- Hillebrand, W. (1978) Weinbau Taschenbunch, Bilz and fraund, Wiesbaden, West Germany.
- Hunter, J.J., R. Skivin and H.P. Fuffner (1994) Diurnal and seasonal physiological changes in leaves of *Vitis labrusca* L. : CO<sub>2</sub> assimilation rates, sugar levels and sucrytic enzyme activity. *Vitis* 33. 189-195.
- Iland, P.G and B.G. Coombe (1988) Malate, tartrate, potassium, and sodium in flesh and skin of Shiraz grapes during ripening: concentration and compartmentation. American Journal of Enology and Viticulture. 39: 1, 71-76.
- Kilani, A.E. (1979) Effect of potassium and boron on growth and productivity of grapevines. M.Sc. Theses Fac. of Agric. Cairo University.
- Klein I.; Strime M.; Fanberstein L. and Mani Y. (2000) Irrigation and fertigation effects on phosphorus and potassium nutrition of wine grapes. *Vitis*, 39: 2, 55-62.
- Ministry of Agriculture (2004) Indicators for agriculture in the Kingdom of Saudi Arabia, Seventeenth volume, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.
- Morris, J.R.; Sims, C.A.; Striegler, R.K.; Cackler, S.D. and Donley, R.A. (1987) Effects of cultivar, maturity, cluster thinning, and excessive potassium fertilization on yield and quality of Arkansas wine grapes. American Journal of Enology and Viticulture. 38: 4, 260-264.



**Figure 6.** Variation in concentration of chloride content in petioles in relation to potassium application and sampling time.



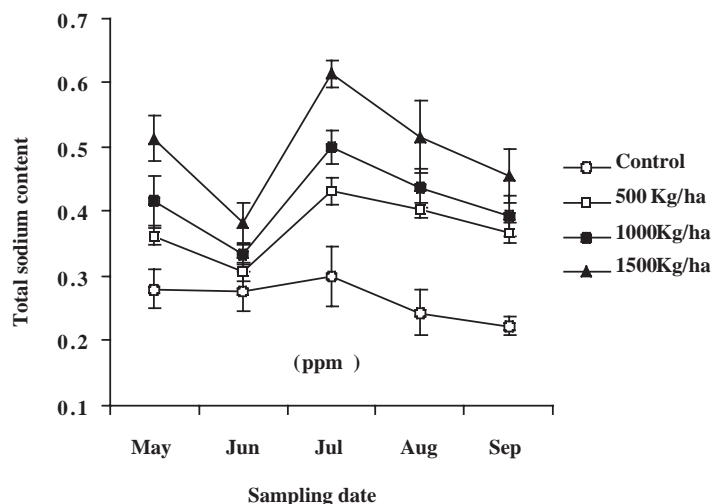
**Figure 7.** Variation in concentration of copper content in petioles in relation to potassium application and sampling time.



**Figure 8.** Variation in concentration of iron content in petioles in relation to potassium application and sampling time.

## REFERENCES

- Patel, V.B. and K.L. Chadha (2002) Effect of sampling time on the petiole nutrient composition in grape (*Vitis vinifera* L.) Indian J. Hort. 59. (4) 349-354.
- Porro, D.; M. Stefanmi; G. Fallia Strengari; M. Tagliavini; G.H. Neilsen and P. Millard (1995) Optimal leaf sampling time in diagnosis of grapevine nutritional status. Acta Hort. 383: 135-142.
- Sauter, L. (1971) Einfluss der NPK-Düngung auf die Photosynthese der reben Diss. Hobenheim, West Germany.
- Shikamany, S.D. and G. Salyanaraayana (1972) Survey of some Anab-e-Shahi grapes (*Vitis vinifera* L.) vineyards around Hyderabad for major nutrient interactions. Indian J. Hort. 29. 258-264.
- Shikhamany, S.D.; Chelvan, R.C. and Chadha, K.L. (1988) Effect of varying levels of nitrogen and potash on petiole nutrient contents in Thompson Seedless grape (*Vitis vinifera* L.). Indian J. Hort. 45: 3-4, 180-188.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1980. Statistical Methods, (7th ed.), Iowa State Univ. press, Ames, Iowa, U.S.A.
- Srinivasan, C.; C.R. Muthukrishnan and K.T. Shivishankara (1972) Influence of the nutrients on the size of cluster premordia in grape buds (*Vitis vinifera* L.) Potash Review, 29/17, 4 pp. Hort. Abst. 43. (6) 3578.
- Tzolova, V. and C. Christov (1996) Chemical composition of vine leaves growth at stock phosphorus and potassium fertilization. Pochvoznanie, Agrokhimiia y Ekologiya., 31: 2, 12-14.



**Figure 9.** Variation in concentration of sodium content in petioles in relation to potassium application and sampling time.