

Effets de substrats locaux sur tomate en culture hors sol

M. Sedki et A. Mimouni

INRA, Centre régional du Souss-Sahara, B.P. 124, Inezgane, Maroc

Résumé

Quatre substrats locaux ont été testés sur une culture de tomate sous serre, variété "Cristina", dans le domaine expérimental de Melk zhar de l'INRA à Agadir. Il s'agit du sable et de trois mélanges sable (S) + gravier (G) : 3/4S + 1/4G, 1/2S + 1/2G et 1/4S + 3/4G. Les performances de ces substrats ont été appréciées à travers la croissance végétative, la production et la qualité des fruits et la détermination du bilan hydrique et minéral. Le mélange 1/4S + 3/4G a limité la croissance en hauteur des plantes mais sans répercussion significative sur la production. Le rendement global obtenu sur la récolte de 8 bouquets a été de 119,4 t/ha sur 1/4S+3/4G, de 117 t/ha sur 1/2S + 1/2G, de 116,7 t/ha sur 3/4S + 1/4G et de 90,8 t/ha sur sable. Les rendements exportables ont été respectivement de 91,8; 94,4; 85,3 et 65,4 t/ha. Au niveau de la qualité des fruits, le mélange 1/4S + 3/4G a produit des fruits riches en matière sèche et plus fermes par rapport à ceux obtenus avec les autres substrats. En matière de nutrition hydrique, les plants cultivés sur sable et sur 3/4S + 1/4G ont enregistré une absorption légèrement supérieure par rapport à ceux cultivés sur 1/2S + 1/2G et 1/4S + 3/4G : 263,71; 263,71 l/plant contre 258,61 et 256,65 l/plant, respectivement. La consommation globale par plant en N, P, K et Ca n'a pas différencié significativement entre les quatre substrats. Elle a été respectivement de 59, 10, 57 et 32 g/plant. Le mélange 1/4S + 3/4G paraît le plus intéressant et prometteur substrat local pour la culture hors sol de la tomate en comparaison avec les autres substrats testés. Néanmoins, l'utilisation de ce substrat exigera l'aménagement d'un réseau d'irrigation performant et une gestion d'irrigation rationnelle afin d'exploiter toutes ses potentialités sur la production.

Mots-clés : tomate, culture hors sol, substrat, sable, gravier

Abstract

Effect of local substrats in a soilless tomato culture.

Four local substrats have been tested in a soilless tomato culture, CV "Cristina", under greenhouse conditions in the INRA experimental station of Melk zhar, Agadir. These were sand and three sand-gravel mixtures : 3/4 Sand (S) + 1/4 gravel (G), 1/2S + 1/2G, and 1/4S + 3/4G. Performances of these treatments were assessed through their effects on plant vegetative growth, yield and fruit quality, and determination of water and nutrient absorption. The mixture 1/4S + 3/4G reduced growth height of plants but had no significant impact on total yield : 119.4 t/ha in 1/4S+3/4G; 117 t/ha in 1/2S + 1/2G; 116.7 t/ha in 3/4S + 1/4G et 90.8 t/ha in sand. Exportable yields were respectively 91.8, 94.4, 85.3 and 65.4 t/ha. Regarding fruit quality, the mixture 1/4S + 3/4G was the most promising as it yielded firmer fruit with higher dry matter content. Plants

Plants cultivated on sand and on the mixture 3/4S + 1/4G showed a slightly higher absorption than those cultivated on the mixtures 1/2S + 1/2G and 1/4S + 3/4G (respectively 263.71; 263.71 l/plant against 258.61 and 256.65 l/plant). Global consumption per plant of N, P, K and Ca did not differ significantly between the four substrats : 59; 10; 57 and 32 g/plant, respectively. The mixture 1/4S + 3/4G looks the most interesting local substrate for the soilless tomato crop. Nevertheless, the use of this substrate requires a good irrigation system to exploit whole interesting characteristics of the yield.

Key words : tomato, soilless culture, substrate, sand, gravel

ملخص

مفعول أربعة جواهر محلية على إنتاج الطماطم خارج التربة

م. صادقي و أ. ميموني

المركز الجهوي للبحث الزراعي لسوس ماسة، ص.ب. 124، انزجان، المغرب

جريت أربعة جواهر محلية في زراعة الطماطم المغطاة صنف كريستينا، خارج التربة في ضيعة ملك الزهر التابعة للمعهد الوطني للبحث الزراعي بأجادير. كان الجواهر الأول متكونا من الرمل فقط والثلاثة الأخرى كانت عبارة عن خليط من الرمل والحصى بنسب مختلفة : 4\3 رمل + 4\1 حصى، 2\1 رمل + 2\1 حصى، 4\1 رمل + 4\3 حصى. تحت كل من هذه الجواهر، تم تقييم النمو النباتي، الإنتاج وجودة المردود، وتحديد كيفية استعمال الماء والمواد المغذية. أدى الجواهر المكون من 4\1 رمل + 4\3 حصى إلى تقليص طول النبات لكن دون أي تأثير على الإنتاج. وقد بلغ المردود 119,4 طن\هكتار بالنسبة للجواهر 4\1 رمل + 4\3 حصى، و 117 طن\هكتار بالنسبة للجواهر 2\1 رمل + 2\1 حصى، و 90,8 طن\هكتار بالنسبة للجواهر المكون من الرمل فقط. أما المردود المصدر فقد بلغ على التوالي : 94,4؛ 85,3 و 65,4 طن\هكتار. بالنسبة للجودة، أدى الخليط 4\1 رمل + 4\3 حصى إلى إنتاج طماطم صلبة غنية بالمادة الجافة بالمقارنة مع الجواهر الأخرى. فيما يخص التغذية المائية، فإن الطماطم المغروسة في الرمل وفي الخليط 4\3 رمل + 4\1 حصى قد استعملت كمية مهمة من الماء (263,71 لتر لكل شجيرة) بالمقارنة مع الطماطم المغروسة في 2\1 رمل + 2\1 حصى و 4\1 رمل + 4\3 حصى (258,61 و 256,65 لتر لكل شجيرة). وقد تبين أن استهلاك المواد المغذية لكل شجيرة كان متساويا تحت الجواهر الأربعة وسجل 59 غراما من الأزوط، 10 غراما من الفسفور، 57 غراما من البوتاسيوم و 32 غراما من الكالسيوم. على ضوء هذه النتائج، يتبين أن الجواهر 4\1 رمل + 4\3 حصى مهم كجواهر محلي لزراعة الطماطم خارج التربة بالمقارنة مع الجواهر الأخرى. لكن استعماله يتطلب تدبيرا محكما لجهاز السقي وذلك لاستغلال جميع مؤهلات هذا الجواهر لإنتاج أكثر.

الكلمات المفتاحية : الطماطم، زراعة خارج التربة. جواهر، رمل، حصى

Introduction

Les cultures hors sol représentent actuellement une mutation technique importante sur les exploitations permettant de mieux s'adapter aux données économiques du marché en optimisant un maximum de facteurs (Brun 1987). Elles occupent 800 ha en France (Musard et Letard 1990), plus de 3000 ha aux Pays-Bas (Benoît 1990), 1000 ha en Belgique (Benoît 1990) et 30 ha en Suisse (Ccm 1990). La culture hors sol a reçu également beaucoup d'importance aux USA, en URSS, au Japon, en Inde et dans certains pays du Moyen orient (Douglas 1985).

Au Maroc, la culture hors sol a connu une grande extension ces dernières années. En 1990, la superficie de cultures hors sol était d'environ 80 hectares dont 72 ha de tomate et 8 ha de rosier et autres. Cette superficie est répartie entre les régions de Fès, El Jadida, Marrakech et Agadir (Sedki 1990).

Parmi les principales raisons d'introduction de la culture hors sol figurent l'élimination des problèmes liés aux sols tels que les maladies et la fatigue des sols, la rationalisation de l'utilisation de l'eau et des engrais et l'amélioration qualitative et quantitative du rendement. En plus de ces raisons, cette technique connaît un essor très important, particulièrement dans la région du Souss-Massa, vue la rareté de l'eau et le développement du goutte à goutte.

Ce système de production introduit de l'étranger par les grandes exploitations comme technologie d'avenir pose toutefois de nombreux problèmes de maîtrise et d'adaptation notamment le choix des substrats. Les substrats utilisés, d'origine locale et constitués de sable et de mélanges gravier + sable, posent de nombreux problèmes d'ordre nutritionnels liés à la non disponibilité de l'eau et des éléments minéraux. Ceci est dû soit à une faible capacité de rétention en eau soit au blocage de certains éléments par la présence de calcaire dans le substrat (carences en éléments minéraux, élévation de pH, etc.). D'autres problèmes ont été constatés au niveau des substrats : une mauvaise aération des racines qui se traduit par une asphyxie des plantes dans le cas des sables fins et une stabilité structurale faible surtout pour les substrats de mélange.

Tous ces problèmes présentent un obstacle au développement de cette technique notamment le choix des substrats. Ceci a été traduit par un déclin des superficies pour atteindre en 1992 une superficie de 29,9 ha (Mimouni et Sedki 1992). Pour pallier ces problèmes, différents mélanges de sables avec gravier ont été expérimentés dans le Domaine expérimental de Melk Zhar. Notre but est d'étudier les performances du sable et de trois mélanges de sable avec gravier comme substrats locaux pour la culture de tomate sous serre dans les conditions climatiques du Souss-Massa.

Matériel et méthodes

L'essai a été entrepris dans le Domaine expérimental de Melk Zhar, situé à 40 km au sud d'Agadir. Les conditions climatiques sous serre ont enregistré des températures minimales absolues inférieures à 10 °C pendant les deux premiers mois de la culture. Durant les trois derniers mois, les températures maximales absolues étaient supérieures à 40 °C. La moyenne des minima de l'humidité

relative a oscillé entre 30 et 40 %; celle des maxima a été généralement voisine de 90 %.

Le dispositif expérimental adopté était en blocs aléatoires complets avec 3 répétitions. Les traitements utilisés ont été le sable (S) seul et 3 mélanges de sable avec gravier (G) dont les proportions sont : 3/4S + 1/4G, 1/2S + 1/2G et 1/4S + 3/4G. Ces matériaux locaux sont d'origine de carrière. Leurs caractéristiques physiques et physico-chimiques sont présentés dans le tableau 1. La parcelle élémentaire comportait 28 plants dont 10 représentaient l'échantillon de mesure. Les plants ont été disposés en lignes jumelées de 0,20 x 0,30 cm.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des substrats utilisés

Substrats	da	dr	CRE	Porosité (%)	CEC	pH	CE
Sable	1,56	2,59	10,5	39,6	24,5	7,8	0,44
3/4S+ 1/4G	1,54	2,62	9,5	28,0	19,5	8,1	0,35
1/2S+ 1/2G	1,52	2,65	8,5	30,4	18,3	8,2	0,22
1/4S+ 3/4G	1,50	2,67	7,5	42,6	12,0	7,9	0,14

S : Sable. G : gravier. da : densité apparente. dr : densité réelle. CRE : capacité de rétention d'eau (% poids sec). CEC : Capacité d'échange cationique (meq/100g). CE : Conductivité électrique (mS/cm).

La variété utilisée est Cristina de type indéterminée "long life", semée le 05/11/91 et plantée le 15/12/91. Le système de culture utilisé est un système à solution nutritive perdue où le drainage n'est pas recyclé. Les substrats sont mis dans des bacs en plastique polyéthylène doubles entrées assurant un volume de 15 l par plant.

L'eau disponible pour l'irrigation est de nature souterraine et superficielle. Cette dernière provient du barrage "Youssef Ibn Tachefine" et est moins chargée, ce qui la qualifie pour être utilisée en culture sur substrat (tableau 2).

Tableau 2. Composition minérale de l'eau d'irrigation

pH	CE (dS/m)	Na+	K+	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ (méq/l)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ^{- -}	HCO ₃ ⁻
7,92	0,38	1,05	0,06	1,86	0,85	1,32	0,00	0,21	2,44

La conductivité électrique (CE = 0,38 dS/m) est inférieure à la valeur maximale (1 ds/m) de la CE tolérée pour des eaux utilisées en culture sur substrats (Baets 1985 et Bruinsma seeds 1989).

Par ailleurs, cette eau est moins chargée en ions bicarbonates ce qui explique son pouvoir tampon faible. En effet, pour abaisser son pH de 7,92 à 5,8

(pH optimum pour la culture de tomate) nous avons utilisé près de 1,535 méq/l d'acide nitrique (60 %; 1,365).

La solution nutritive utilisée pour alimenter les plantes de tomate est basée sur celle de Coic-Lesaint (solution pour plantes neutrophiles, type 14,4 milliéquivalents d'azote par litre). La composition chimique de cette solution est présentée dans le tableau 3. Le choix de la solution 14,4 méq/l d'azote et son utilisation durant tout le cycle de la culture avec un équilibre minéral et une concentration globale constante (1,8 dS/m) était dicté par le type de variété utilisée. Jeannequin (1987) a rapporté qu'en région méditerranéenne et suite aux contrôles analytiques durant plusieurs années, l'équilibre minéral et la concentration globale ne semblent pas être modifiés pour les hybrides de tomate à croissance indéterminée. Leur végétation plus dense nécessite, à partir de la floraison du 3e bouquet, des arrosages plus importants que les hybrides à croissance déterminée, ce qui leur apporte en conséquence, à un même stade végétatif, une quantité supérieure d'éléments fertilisants.

Tableau 3. Solution nutritive de Coic-Lesaint type 14,4 meq N/l

Macro-éléments	Méq./l	Oligo-éléments	mg/l
NO ₃ -	12,2	Molybdate d'ammonium	0,05
HPO ₄ - -	2,2	Acide borique	1,5
SO ₄ - -	1,5	Sulfate de manganèse	2 à 5
CL - -	0,2	Sulfate de zinc	1
K +	5,2	Sulfate de cuivre	0,25
Na +	0,2	Fer	0,6 à 2
Ca + +	6,2		
Mg + +	2,0		
NH ₄ +	2,2		

Pratiquement, nous avons procédé par la fabrication de deux solutions mères : A et B (tableau 4). Leur dilution dans l'eau d'irrigation à 3 % permet d'obtenir la solution nutritive ou solution fille à pH de 5,8 et une conductivité électrique de 1,8 dS/m. Un contrôle du pH et de la conductivité électrique a été effectué en permanence sur la solution nutritive et sur celle du drainage afin d'apporter les corrections nécessaires et de maintenir les caractéristiques de la solution nutritive dans les normes d'utilisation.

Cette solution a été préparée dans un bassin et distribuée à travers un système d'irrigation localisé de type "Agro-drip" (un goûteur pour deux plants) et à l'aide d'une motopompe gérée par une minuterie d'automatisation. Les solutions de drainage s'écoulent suivant une légère pente (0,2 %) en extrémité du bac et représentent 10 à 15 % des quantités apportées.

Les observations et mesures ont porté sur la croissance en hauteur des plantes, la quantité globale et exportable par classe de calibre, la qualité des fruits (fermeté et matière sèche), l'évolution du pH et de la conductivité électrique des eaux de drainage et sur le bilan hydrique et minéral.

Tableau 4. Composition chimique par litre des solutions mères

Solution mère A		solution mère B	
Acide nitrique	64,83 ml	Acide nitrique	0,17 ml
Phosphate biammonique	56,67 g	Nitrate de calcium	158,33 g
Sulfate de magnésium	37,67 g	Nitrate de potassium	85,00 g
sulfate de potassium	12,33 g	Séquestrène 138 Fe	3,33 g
Nitrate de potassium	85,00 g		
Oligo-éléments	33,33 ml		

L'estimation exacte de la quantité d'eau et des éléments minéraux consommés par la plante nécessite la connaissance au préalable du volume racinaire effectif des plantes sur chaque substrat et pour les différents stades au cours du cycle. Dans notre cas, la quantité consommée par la plante est déterminée à partir de la formule suivante :

$$QC = QA - QD$$

QC : Quantité consommée

QA : Quantité apportée

QD : Quantité drainée

Résultats et discussion

Comportement des substrats vis à vis de la solution nutritive

Conductivité électrique

Il n'y a pas eu d'accumulation des ions dans les solutions racinaires des quatre substrats étudiés (figure 1), du fait que la conductivité électrique du drainat reste maintenue entre 1,63 et 1,95 dS et ne sont pas loin de celle des quantités apportées durant tout le cycle cultural. Mais il est très important de signaler que la conductivité électrique du drainat au niveau du mélange 1/4S + 3/4G a suivi une allure croissante contrairement aux autres substrats. Ce phénomène peut être expliqué par les caractéristiques physiques des substrats qui ont permis un drainage plus important. Cependant, les valeurs enregistrées (1,63 à 1,95 dS/m) restent en général proches de celles de la solution apportée et ne présentent aucun signe de salinité du milieu racinaire. Ainsi, l'écart entre la conductivité électrique de la solution drainée (EC_D) et celle de la solution apportée (EC_A) qui était de 0,5 dS/m reste inférieur au seuil toléré (Zuang et Muzard 1986).

pH des solutions de drainage

Le pH du drainat est alcalin au niveau des quatre substrats (figure 2). Toutefois, il est fortement alcalin (>8) pour le mélange 1/S + 3/4G et légèrement alcalin (<8) pour les 3 autres substrats. Le comportement alcalin de ces substrats peut être attribué en partie à la richesse de ces matériaux en bicarbonates. Afin d'éviter ce genre d'accident chimique, un bain de 24 heures dans une solution contenant de

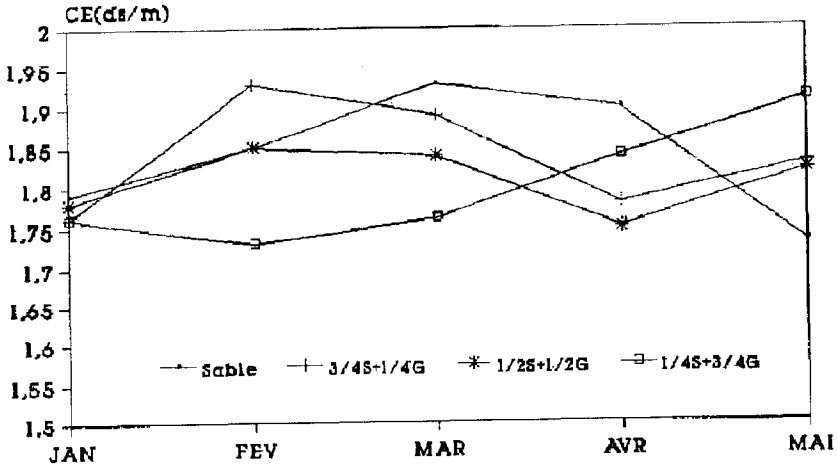


Figure 1. Évolution de la conductivité électrique des solutions de drainage

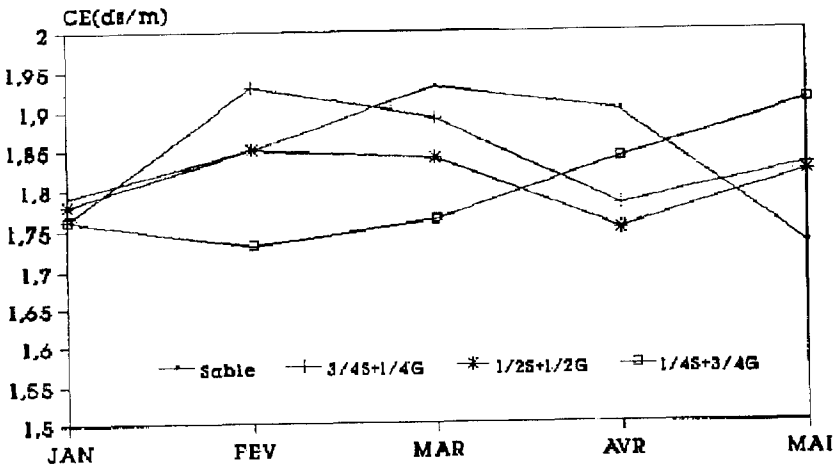


Figure 2. Évolution du pH des solutions de drainage

l'acide phosphorique pour les sables et graviers a été réalisé au préalable (Zuang et Muzard 1983).

Les substrats utilisés ont donc un effet important sur le pH des solutions nutritives utilisées. Cependant, l'augmentation du pH des solutions de drainage peut ne pas présenter de danger sur l'absorption des éléments minéraux. En effet, Brun et Montarone (1987) ont conclu que le système racinaire de la tomate sur substrat peut s'accommoder de pH allant de 4,5 à 8,4. Enfin, il est permis de dire que la conduite uniforme de l'irrigation fertilisante pour les quatre substrats peut expliquer la variation entre les pH des solutions de drainage.

Croissance en hauteur de la plante

L'analyse de la croissance en hauteur des plantes a montré que la nature du substrat est l'un des facteurs qui influencent le fonctionnement du végétal par l'intermédiaire de ses caractéristiques physiques et physico-chimiques. Le mélange 1/4S + 3/4G a permis de limiter la hauteur de la plante 2 mois après la plantation (figure 3) et a entraîné ainsi une chute de la vigueur de la végétation. Toutefois, la vitesse de croissance des plantes au niveau des quatre substrats tend vers une diminution d'une manière similaire, ceci coïncide avec le stade de grossissement des fruits.

Cet effet peut être attribué à un statut hydrominéral au niveau du mélange 1/4S + 3/4G permettant à la plante une bonne alimentation. Par ailleurs, les conditions ambiantes du milieu, par effet direct sur le substrat (évaporation), contribuent à faire varier ce statut et à provoquer ainsi un stress au niveau des racines capables de freiner la croissance de la plante. Or l'examen du système racinaire a permis de constater que les racines étaient parfaitement développées et exploraient la totalité du substrat. Concernant les autres substrats, ils ont offert à la plante un réservoir d'eau relativement important permettant à la plante d'exploiter d'autant plus d'eau et d'éléments nutritifs et d'avoir ainsi une végétation trop abondante. Il est généralement considéré qu'un excès de vigueur des plants de tomate est susceptible de retarder l'entrée en production et de stimuler la formation de bourgeons végétatifs plutôt que floraux (Blanc 1987). Le substrat 1/4S + 3/4G intervient donc favorablement sur le fonctionnement végétatif de la plante permettant ainsi une végétation aérée et une facilité de manipulation des opérations culturales.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus à Alenya en France sur la variété Vémone. Il a été montré qu'avec les substrats à faible capacité de rétention d'eau, les plantes ont été moins végétatives, mais ni le rendement ni la qualité des fruits n'ont été affectés (Jeannequin *et al.* 1987).

Production

La différence obtenue au niveau de la croissance végétative n'a eu aucun effet significatif sur la production globale (figure 4). Ces résultats sont analogues à ceux obtenus à Alenya en France avec l'hybride Vémone cultivé sur pouzzolane + tourbe, tuf basaltique, gravier + tourbe, pouzzolane fine, sable, liège, rafle de raisin et laine de roche en flocons (Jeannequin *et al.* 1987).

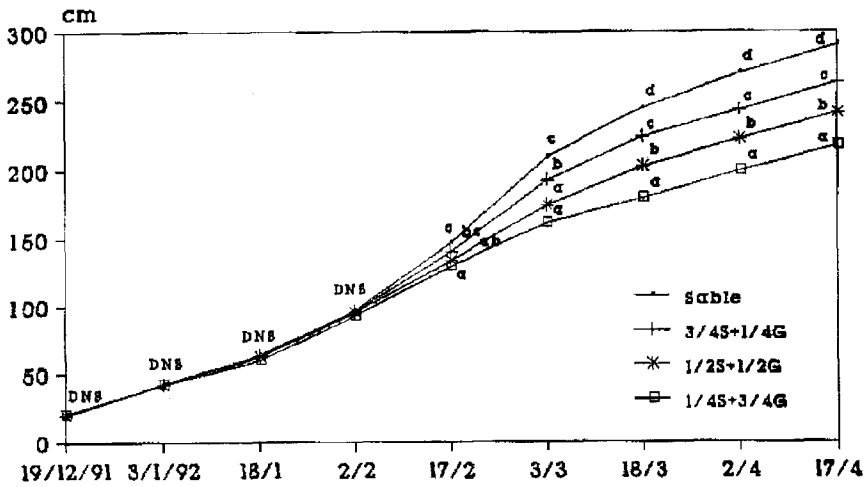


Figure 3. Effet des substrats sur la croissance en hauteur des plantes. DNS : différences non significatives. Les valeurs suivies de lettres diffèrent significativement à 5 %

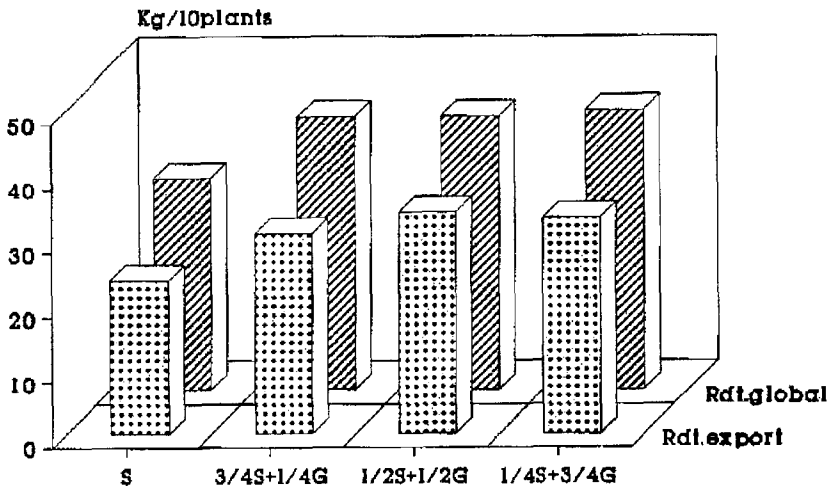


Figure 4. Effet des substrats sur le rendement global et exportable

Quant à la production exportable, rassemblant les quatre classes de calibre C1, C2, C3 et C4, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative. L'analyse comparative des classes de calibres a montré une dominance nette du calibre 4, suivi du calibre 3 et 2. Ce phénomène a été lié en premier lieu aux basses températures qui ont coïncidé avec la fructification des trois premiers bouquets et ont par conséquent défavorisé l'obtention de gros calibres (tableau 5).

Tableau 5. Effet des substrats sur le rendement exportable par classe de calibre

	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	(gramme / plant)				(%)			
Sable	84,0	495,3	620,7	1169,7	4,0	20,7	25,3	50,0
3/4S + 1/4G	52,7	706,3	1116,3	1218,0	1,8	20,6	33,7	43,9
1/2S + 1/2G	119,3	637,0	1269,0	1396,0	3,5	18,6	37,1	40,8
1/4S + 3/4G	62,3	856,7	1144,3	1265,3	1,9	24,7	34,0	39,4

S : Sable. G : Gravier

En rapportant la production à l'hectare, à raison de 27 600 plants/ha, les rendements globaux sur 8 bouquets seront de l'ordre de 119,40 t/ha sur 1/4S + 1/4G, de 117 t/ha sur 1/2S + 1/2G, et de 116,70 t/ha sur sable. Les rendements exportables seront respectivement : 91,88; 94,42; 85,37 et 65,41 t/ha. Ce tonnage semble être intéressant en comparaison les rendements de 140 t/ha sur 10 bouquets réalisé à Douyet-Fès en culture chauffée sur pouzzolane (Benhomes et Remmal 1990), et de 185 t/ha sur pouzzolane, de 169 t/ha sur laine de roche, de 165 t/ha sur sacs "Motex" et de 155 t/ha sur laine de roche obtenus au Domaine expérimental Melk Zhar de l'INRA (El Fkihi 1992). De même, il est plus intéressant que celui réalisé au domaine Duroc à Massa (110 t/ha en grande production sur sable + gravier en 1990). Par ailleurs, les résultats obtenus sur les quatre substrats restent toutefois supérieurs à ceux réalisés au niveau régional en culture sur sol (80 à 120 t/ha).

Qualité des fruits

Au niveau de la qualité des fruits, le mélange 1/4S + 3/4G a produit des fruits plus fermes au niveau du 2^e et 4^e bouquet et plus riches en matière sèche au niveau du 2^e bouquet en comparaison avec les autres substrats (tableau 6). Cette différence peut être liée à un bon développement racinaire sur ce substrat causé par une bonne aération et un non engorgement des fruits en eau.

Tableau 6. Effet des substrats sur la qualité des fruits (moyenne de 3 répétitions). Les valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement à 5 % (test de Newman-Keuls)

Bouquet	Fermeté (g/cm ²)				Matière sèche (%)			
	2	4	6	8	2	4	6	8
sable	441,67b	473,00b	475,66a	475,66a	6,17b	6,28a	6,33a	6,32a
3/4S + 1/4G	448,00b	479,33b	489,00a	489,00a	6,12b	6,23a	6,34a	6,30a
1/2S + 1/2G	485,00b	497,33b	499,00a	499,00a	6,15b	6,31a	6,39a	6,36a
1/4S + 3/4G	587,00a	589,33a	534,33a	534,33a	6,80a	6,48a	6,56a	6,54a

Bilan hydrique et minéral

Bilan hydrique

Les irrigations ont été pilotées par le taux de drainage (figure 5). Généralement des taux de 10 à 25 % permettent de maintenir la solution nutritive au niveau des racines dans les normes d'utilisation et d'évacuer tout élément rejeté par la plante afin d'éviter l'accumulation des sels au niveau des substrats. Or, des fluctuations au cours du cycle sont apparues en fonction du stade de développement de la plante, des conditions climatiques et de l'irrigation uniforme pour tous les substrats.

Les quantités moyennes de 15 j d'eau apportées et celles prélevées par plant/jour sur les quatre substrats sont présentées dans la figure 6. Au début du cycle, la quantité journalière apportée par plant a été d'environ 1,35 litres, correspondant à l'humidification des substrats. Or les quantités d'eau consommées au début du cycle sont moins importantes. Cela est dû à un système végétatif moins développé et des conditions climatiques non favorables; ils s'en suit un ralentissement de la croissance des plantes suite aux basses températures nocturnes. Ces quantités augmentent par la suite avec l'augmentation de la charge en fruits, de la vigueur de la plante et de la demande climatique. Elle dépasse ainsi 3 l/j/plant durant la 18^e semaine qui correspond à la récolte du 8^e bouquet et ceci suite aux températures élevées enregistrées. Toutefois, il est à signaler que les apports doivent être supérieurs aux besoins pour assurer un bon drainage.

Les plants ont absorbé respectivement durant tout le cycle (135 j) 263,7 l pour le sable, 263,7 l pour le 3/4S + 1/4G, 258,6 l pour le 1/2S + 1/2G et 256,65 l pour le 1/4S + 3/4G. Les quantités apportées sont de 311,85 l.

La détermination de l'efficacité en eau dans les quatre substrats montre qu'un litre d'eau consommé par plant cultivé sur sable, 3/4S + 1/4G, 1/2S + 1/2G et 1/4S + 3/4G produit respectivement 12,46; 16; 16,39; et 16,83 grammes de fruits de tomate.

La diminution légère du rythme d'absorption de l'eau par la plante sur les quatre substrats durant le mois de mai ne serait que la conséquence de l'opération de l'écimage qui a été pratiquée pendant cette période d'une part et, d'autre part, de la diminution de la charge en fruits par plant (50 % des récoltes ont été effectuées).

Bilan minéral

Le diagnostic de l'alimentation hydrique de la plante reflète l'aptitude alimentaire de ces substrats et permet de bien évaluer ses correctifs. En effet, la réserve alimentaire ainsi évaluée en fonction de l'analyse minérale des eaux de drainage représente un stock d'ions disponibles présents dans un certain volume de substrat. Or, le système racinaire n'est en contact qu'avec une fraction du substrat où il se développe et ne peut absorber qu'une certaine partie des ions disponibles. Cette partie, pour un stock donné, peut varier très largement; elle est essentiellement fonction du développement racinaire, de l'ampleur des mouvements d'ions et des modalités de l'alimentation hydrique, c'est à dire du volume du substrat réellement exploré par les racines.

Les quantités d'éléments minéraux consommées par plant et par jour sont présentées dans la figure 7. L'examen des solutions de drainage montre que la consommation globale en éléments nutritifs par les plantes sont du même ordre de grandeur et présentent des allures similaires pour les quatre substrats aussi bien pour l'azote, le phosphore, le potassium que le calcium. Les quantités consommées durant tout le cycle sont présentées dans le tableau 7.

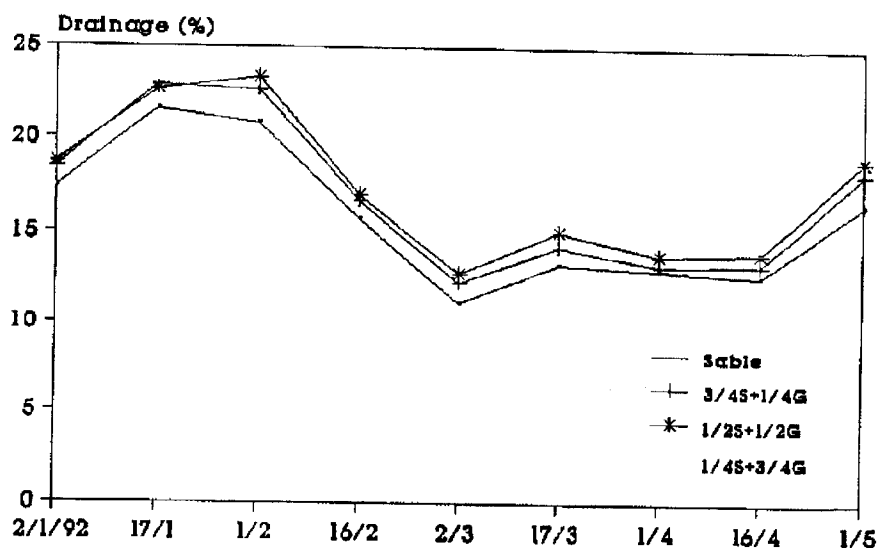


Figure 5. Évolution du taux de drainage

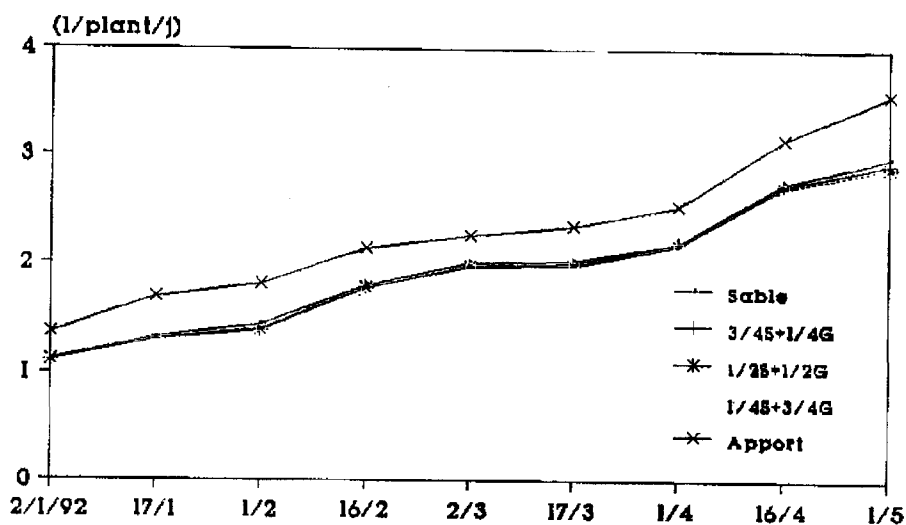


Figure 6. Évolution de la consommation en eau de la tomate (l/plant/j)

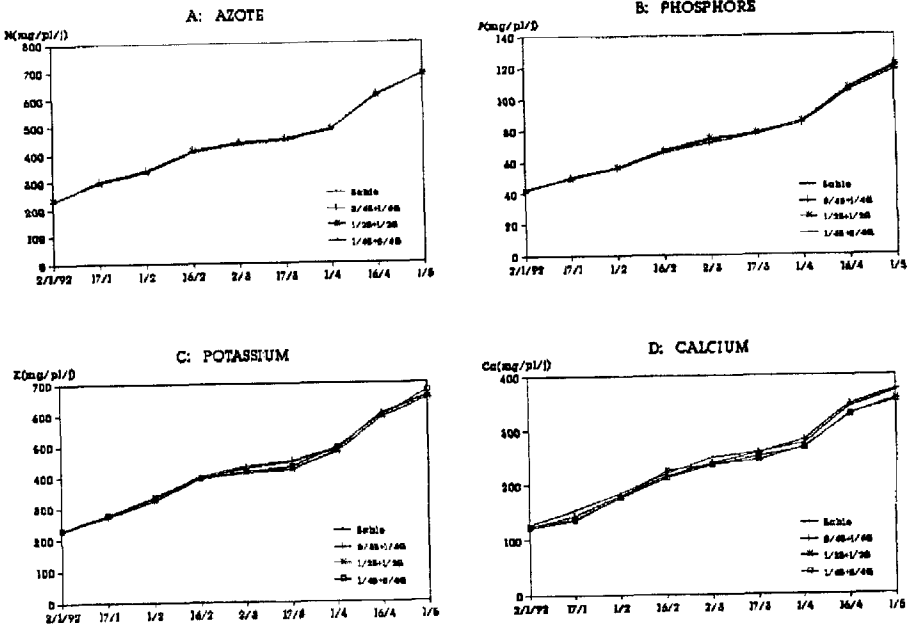


Figure 7. Cinétique d'absorption des éléments minéraux

Tableau 7. Quantités d'éléments minéraux consommés durant le cycle de la culture (moyenne sur 3 répétitions). Les valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement à 5 % (test de Newman-Keuls).

	N	P	K	Ca
	(g / plant)			
sable	59,07 a	10,07 a	57,81 a	32,60 a
3/4S + 1/4G	59,36 a	10,03 a	57,38 a	32,60 a
1/2S + 1/2G	59,03 a	10,18 a	56,36 a	31,33 a
1/4S + 3/4G	59,00 a	10,15 a	57,37 a	31,07 a

Les équilibres d'absorption ne diffèrent pas d'un substrat à l'autre. Cependant, au sein du même substrat, on note une légère variation de ces équilibres au début du cycle de la culture. Ces équilibres sont proches de celui de la solution nutritive qui est de : 1,0 pour N, de 0,16 pour P et de 1,0 pour K (tableau 8).

Tableau 8. Effet des substrats sur l'équilibre d'absorption N,P, K.

		19/12/91 au 02/01/92	3/1 au 17/1	18/1 au 1/2	2/2 au 16/2	17/2 au 2/3	3/3 au 17/3	18/3 au 1/4	2/4 au 16/4	17/4 au 1/5
sable	N		1	1	1	1	1	1	1	1
	P		0,19	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
	K		0,98	0,93	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
3/4S +	N		1	1	1	1	1	1	1	1
	P		0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17
	1/4G K		0,99	0,89	0,95	0,96	0,97	1,00	0,98	0,96
1/2S +	N		1	1	1	1	1	1	1	1
	P		0,18	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18
	1/2G K		0,98	0,92	0,96	0,96	0,94	0,98	0,97	0,95
1/4S +	N		1	1	1	1	1	1	1	1
	P		0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	3/4G K		0,97	0,93	0,99	0,96	0,95	1,01	0,97	0,98

A la lumière de ces résultats, le mélange 1/4S + 3/4G s'est montré un substrat plus intéressant et prometteur en tant que substrat local pour les cultures hors sol : mise en place facile, gestion de l'irrigation fertilisante simple, rendement élevé. Cependant, le choix d'un substrat selon les critères économiques reste encore très important. Par exemple le coût d'installation de 1 ha de pouzzolane est évalué à 21750 Dhs/an, non compris l'installation de tête, le système de chauffage, et le système de drainage (Benhomes et Remmal 1991). Ce chiffre sera encore plus important si le lieu d'approvisionnement est loin du lieu d'installation.

Références bibliographiques

- Baets T. (1985). La culture sur substrat et l'hydroculture de la tomate. Ministère de l'agriculture. Bruxelles 46p.
- Benhomes M. et Remmal A. (1991). Culture de tomate en hors sol, domaine royal "Douyet" Fès. Enquête IAV Hassan II. CHA.
- Benoit F. (1990). La culture à haute technologie des légumes sous serre. *Revue de l'agriculture* 4 (40) : 905 - 913.
- Blanc D. (1987). Les cultures hors sol. 2^e édition. INRA. Paris, 409p.
- Bruinsma Seeds B.V. (1989). Tomatoes on rockwool. Cultural informations. 50p.
- Brun R. (1987). Les différents systèmes de culture hors sol du rosier. P.H.M. *Revue horticole* 273 : 37-43.

- Brun R. et Blanc D (1987). Cinétique de l'absorption hydrique en minérale composition ionique des solutions. In « Les cultures hors-sol ». (D. Blanc, éd.) 2^e édition, INRA, Paris. p 234.
- Brun R. et Montarone M. (1987). pH du milieu et réaction de la plante : différences spécifiques et variétales. In « Les cultures hors sol » (D. Blanc). 2^e édition, INRA, Paris. pp : 153-170.
- Ccm - Schweizerische Zentralstelle Gemüsebau- (1990). Hors sol : Aufstellung nach Gebiet und Zusammenfassung Schweizerische Zentralstelle Gemüsebau, Koppingen, Polykopies.
- Dermoumi A. (1992). La culture de la tomate en hors-sol sur différents substrats. Mémoire de 3^e cycle. IAV Hassan II. CHA.
- Douglas J.S. (1985). Advanced guide to hydroponics (soiless cultivation). Pelham books, London. p 368.
- El Fkihi A. (1992). Étude comparative d'une culture sous serre de tomate sur laine.
- Jeannequin B. (1987). Fertilisation de la tomate en culture hors sol en région méditerranéenne. In « Les cultures hors sol » (D. Blanc). 2^e édition, INRA, Paris. pp : 235-236.
- Jeannequin B., Brun R., Guimbarde C., et Corre J. (1987). Les systèmes de culture hors sol en maraîchage. n « Les cultures hors sol » (D. Blanc). 2^e édition, INRA, Paris. pp : 251-280.
- Mimouni A. et Sedki M. (1992). Enquête sur les cultures hors sol au Maroc. Situation actuelle et perspectives d'avenir. Rapport de synthèse. INRA - CRSS, Agadir, Maroc.
- Muzard M. et Letard M. (1990). Le maraîchage sous serres et abris en culture sur substrats. PHM. *Revue Horticole* **308** : 55-58.
- Sedki M. (1990). Enquête sur les cultures hors sol au Maroc. Situation, superficie et répartition régionale. INRA- CRSS, Agadir, Maroc.
- Urban L. (1991). État hydrique et production sous serre en hors sol. PHM. *Revue. Horticole* **319** : 37-43.
- Zuang H. et Musard M. (1986). Cultures légumières sur substrats : Installation et conduite. CTIFL, 3^e trimestre, Paris, 276 p.