



Etude des performances agronomiques de plusieurs substrats marocains en relation avec leurs caractéristiques physiques

Mimouni A.¹, Sedki M.²

¹ Ingénieur d'Etat en sciences du sol, INRA, CRRA-Agadir, B.P. : 124 Inezgane, Maroc

² Ingénieur d'Etat horticole, INRA, CRRA-Agadir, B.P. : 124 Inezgane, Maroc

Résumé

Douze substrats d'origine marocaine ont été utilisés pour étudier l'effet de leurs caractéristiques physiques sur le rendement et la qualité de la tomate hors sol. Il s'agit de la pouzzolane, les graviers calcaires, les sables d'Oued Massa, les sables de carrière et les mélanges 2/3, 1/2, 2/5 et 1/5 des sables avec 1/3, 1/2, 3/5 et 4/5 des graviers.

Les rendements globaux et exportables obtenus diffèrent significativement d'un substrat à l'autre. La pouzzolane, les sables d'Oued Massa et les mélanges (sables+graviers) contenant au moins 50 % de gravier ont donné des rendements satisfaisants (3,58-3,81 kg/plant). Par contre, les sables de carrière et les mélanges contenant moins de 50 % de gravier ont donné des rendements inférieurs (2,87-3,47 kg/plant).

Les substrats étudiés ont donné des fruits ayant presque le même pH et la même fermeté. Cependant, ils sont très différents de point de vue acidité titrable, taux de matières sèches et taux des matières solides solubles.

Les différentes corrélations établies montrent que la porosité totale et surtout la teneur en air ainsi que la disponibilité en eau des substrats sont les caractéristiques ayant un effet déterminant sur les composantes principales du rendement. De même, elles ont montré que les caractéristiques physiques des substrats n'ont pas d'effet sur la fermeté des fruits et le pH de leur jus. Par contre, elles ont un effet plus ou moins marqué sur l'acidité, les taux des matières solides solubles et la matière sèche des fruits.

Mots-clés : Substrat, caractéristiques physiques, rendement, qualité, culture hors sol

Abstract: Study of agronomic performances of several Moroccan substrata relative to their physical characteristics

Twelve Moroccan substrata were used to study the effect of the physical characteristics on production and quality of hydroponic tomatoes. These substrata are : pouzzolane, calcareous gravel, silicious sand of the river Massa, quarry sand and four sand-gravel mixtures (2/3, 1/2, 2/5, and 1/5).

A very significant difference was found between all substrata for the total and exported production. The pouzzolane, the silicious sand of the Massa river and the sand-gravel mixtures contained at least 50 % of the gravel produced yields of 3,58 to 3,81 Kg/plant. However, the quarry sand and the mixtures containing at least 50 % of the gravel produced lower yields. pH and firmness of tomato fruits were the same for all substrata. However, a significant difference was found between substrata for acidity, dry matter and the soluble solids of fruit juice. Different correlations showed that porosity, air space and water availability had a significant effect on yield. Also, these correlations showed that substrata had no effect on fruit firmness and pH, but had affected the acidity, dry matter and the soluble solids of fruit juice.

Key words : Substratum, physical characteristics, tomato, yield, quality, hydroponic

ملخص : دراسة المقومات الزراعيّة لعدّة جواهر مغربيّة ارتباطا بخصائصهم الفيزيائيّة

ميموني أ.1، صدقي م.1.

1 : المركز الجهوي للبحث الزراعي، أكادير، المغرب

اثنى عشر جوهرا مغربيا استعملت من أجل معرفة مدى تأثير خصائصها الفيزيائية على مردودية الطماطم خارج التربة كما وكيفا وهذه الجواهر هي : البذرلان، رمل واد ماسة السلسي، رمل الترسبات، أربعة جواهر مكوّنة من خليط الحصى و الرّمّل 1/5, 2/5, 1/2, 2/3 , رمل و 1/3, 1/2, 3/5, 4/5 و أخيرا الحصى وحده.

إن المردود العام و المصدر المسجلان يختلفان اختلافا كبيرا من جوهر لآخر البذرلان، رمل واد ماسة السلس و كل خليط يحتوي على أكثر من 50 % من الحصى أعطو مردودية هامة

(3,81-3,58 كغم/شجيرة). لكنّ الرمل المترسّب و الخليط الذي يحتوي على أقل من 50 % من الحصى أعطوا مردوديّة أقلّ (2,87 - 3,47 كغم/شجيرة). إنّ الجواهر التي درست أعطت تقريبا نفس (pH) و كذلك نفس الصلابة. لكنّهم يختلفون من ناحية الحموضة، المادّة اليابسة و المواد الصلبيّة المحلولة.

مختلف الروابط أبانت أن المسامية العامّة وبالخصوص الحجز الهوائي و التوفّر المائي هي الخصائص التي تؤثر على المردوديّة. كما أبانوا على أنّ هذه الخصائص ليس لها أي مفعول على (pH) و الصلابة. إلا أنّها تؤثر على الحموضة، المادّة اليابسة و المواد الصلبيّة المحلولة. و أن البذرلان هو أحسن جوهر كما و كيفا متبوعا برمل وادي ماسّة، و كل خليط يحتوي على أكثر من 50 % من الحصى ثم الحصى وحده، و أخيرا رمل الترسبات و الخلائط التي تحتوي على أقل من 50 % من الحصى.

كلمات مفتاحيّة : الخصائص، الجوهر، الفيزيائية

Introduction

Dès leur introduction au Maroc en 1986, les cultures hors sol ont connu une grande extension. Elles couvrent jusqu'à 1990 une superficie d'environ 80 hectares (Sedki 1990). Cependant, elles ont régressé pour atteindre en 1992 une superficie de 29,9 ha et en 1993 une superficie de 20 ha (Sedki et Mimouni 1992). Ceci est due à de nombreux problèmes de maîtrise et d'adaptation notamment le choix des substrats. Ce choix des substrats revêt une importance primordiale dans les cultures hors sol. En effet, la limitation du volume mis à la disposition des racines impose que le substrat apporte l'eau, l'air et les éléments minéraux. Si actuellement ces derniers peuvent être apportés en partie ou en totalité de façon plus ou moins précise en cours du cycle de la culture par des engrais minéraux, la disponibilité en eau et en air dépend étroitement des caractéristiques physiques des substrats (Crozon et Neyrood 1990). Dans le même sens, plusieurs auteurs ont montré et confirmé l'effet direct ou indirect de ces caractéristiques sur la croissance et le développement des plantes (De Boodt et Verdonck 1972 ; Puustjarvi 1974 ; Puustjarvi et Roberston 1975 ; Van Dijk 1976 ; Verdonck *et al.* 1981 ; Prasad 1979 ; Lemaire *et al.* 1980 ; Sonneveld 1980 ; Luque 1981 ; Zuang et Muzard 1986). Ces effets directs et indirects sont principalement liés au rôle que peut jouer l'aération du système racinaire et la disponibilité de l'eau et des éléments fertilisants pour les plantes (Hanan et Langhans 1961 ; Anstet 1979 ; Michael et Bergmann 1954 ; cité par Verdure 1978 ; Whit 1974 ; Blanc 1978 ; Anstett 1979 et Gras 1987).

Dans le but de montrer l'importance des caractéristiques physiques dans le choix d'un substrat ou dans la confection des mélanges, cette étude a pour objectif principal la mise en évi-

dence de l'effet de ces caractéristiques physiques sur le rendement et la qualité de la tomate hors sol. Cette étude a aussi un second objectif visant la comparaison entre les substrats locaux les plus utilisés par les agriculteurs (sables, graviers et mélanges) et la pouzzolane, substrat national ayant donné des performances agronomiques élevées au Maroc et à l'étranger. Les recherches sur ce domaine ont été limitées aux études des performances agronomiques des substrats et à l'étude des bilans hydriques et minéraux sans tenir compte des caractéristiques physiques des substrats et des mélanges ni de leurs effets.

Matériel et méthodes

Caractérisation des performances agronomiques des substrats

Les performances quantitatives

le rendement global

Il a été jugé d'arrêter la production au 5^e bouquet. Ceci permettra d'avoir une idée globale sur la production totale. Elle englobe les fruits calibrés selon les normes d'exportation requises en C1 : 77-87 mm, C2 : 67-77 mm, C3 : 57-67 mm, C4 : 47-57 mm et les déchets (les gros calibres + les calibres inférieurs à 47 mm) (Sasma 1986).

le rendement exportable

Toujours selon les normes internationales d'exportation requises, les fruits exportables sont ceux ayant un calibre compris entre les calibres C1 et C3 (Sasma 1986).

Les performances qualitatives

Des multiples facettes de la qualité, nous avons retenu celles aisément quantifiables, considérées comme étant les plus dépendantes du système de cultures et les plus importantes pour le consommateur et le producteur (Buret et Dupart 1987).

la fermeté

Elle est mesurée à l'aide d'un pénétromètre ayant comme principe la mesure de la force, en grammes, nécessaire pour faire pénétrer dans le fruit un embout cylindrique à extrémité plane de diamètre 2 mm.

la qualité organoleptique.

Le pH du jus.

Il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique.

l'acidité du jus

Le principe d'analyse de l'acidité repose sur la neutralisation des fonctions acides libres (constituées en grande majorité par celles de l'acide citrique) à l'aide d'une base forte.

Taux des matières solides solubles

Il est mesuré à l'aide d'un réfractomètre à une température donnée et rapportée à 20 °C. Il est exprimé en degré Brix qui donne le pourcentage de matières solides solubles.

$$\% \text{ matières solides solubles} = \text{Brix lu} + 0,08 \times (\text{T } ^\circ\text{C lue} - 20)$$

Matière sèche.

10 g du mélange ont été prélevés puis séchés dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures.

Poids sec (g)

$$\% \text{ matière sèche} = \frac{\text{Poids secs (g)}}{10 \text{ g}} \times 100$$

Expérimentation

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions. Chaque pot (15 litres) est considéré comme une unité expérimentale. La superficie de l'essai est de 50 m² (5 x 10). Le système adopté est celui à solution perdue. La solution nutritive utilisée est celle de Coic-Lesant caractérisée par une concentration 14,4 méq d'Azote par litre.

Résultats et discussion**Analyse des composantes du rendement****Le rendement global.**

Les rendements globaux donnés par les différents substrats sur cinq bouquets sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Rendements globaux et exportables obtenus par les différents substrats

	Rendement global (kg /plant)	Rendement exportable (kg/plant)	% du rendement exportable
P	3,81	3,33	87,29
S1	3,72	3,21	86,22
2/3S1 + 1/3G	3,47	2,96	85,16
1/2S1 + 1/2G	3,57	3,06	85,64
2/5S1 + 3/5G	3,58	3,04	84,92
1/5S1 + 4/5G	3,58	3,11	86,84
S2	2,87	2,45	85,42
2/3S2 + 1/3G	2,89	2,45	84,65
1/2S2 + 1/2G	3,60	3,14	87,16
2/5S2 + 3/5G	3,65	3,14	86,12
1/5S2 + 3/5G	3,58	3,07	85,74
G	3,25	2,80	86,02

P = Pouzzolane, G = Graviers calcaire, S1 = Sables siliceux d'Oued massa, S2 = Sables de carrière

En rapportant le rendement global à l'hectare, à raison d'une densité de 28.000 plants/ha (densité utilisée en moyenne dans la région), les rendements variaient entre 80,4 t/ha pour les sables de carrière et 106,7 t/ha pour la pouzzolane (sur 5 bouquets). Ces rendements sont supérieurs à ceux trouvés pour les cultures en sol (en moyenne 80 t/ha) ce qui confirme les résultats trouvés par Verdure (1978), Jeannequin *et al.* (1987) et Benoit (1990) qui ont conclu que les cultures hors sol donnent un rendement supérieur à celui des cultures en sol. Des résultats analogues ont été trouvés par Sedki (1991) et Fkihi (1992).

L'analyse de la variance a dégagé une différence très hautement significative entre les différents substrats. Le test de Newman et Keuls a fait distinguer six groupes de substrats (tableau 2).

Tableau 2. Analyse de la variance des rendements donnés par les substrats

RDT G	RDT B1	RDT B2	RDT B3	RDT B4	RDT B5	RDT EXP	RDT	%EXP
7 a	8 a	7 a	7 a	7 a	7 a	8 a	3 a	a
8 a	8 a	8 a	8 a	8 a	8 a	7 a	8 a	a
12 b	12 b	12 b	12 b	12 b	12 b	3 a	5 a	a
3 c	9 c	9 c	3 c	3 c	3 c	12 b	2 a	a
4 cd	3 cd	3 c	9 c	4 c	4 c	5 b	11 a	a
6 cd	10 cd	10 cd	4 cd	5 c	6 c	9 b	1 l	l
11 cd	11 cd	11 cd	10 cd	6 c	5 c	6 b	10 a	a
5 cd	4 cd	4 cd	5 cd	11 c	11 c	11 b	12 a	a
9 cd	6 cd	5 cd	11 cd	9 d	9 d	2 b	7 a	a
10 d	5 cd	6 cd	6 cd	10 d	10 d	10 b	4 a	a
2 de	2 d	2 d	2 d	2 d	2 d	4 b	9 a	a
1 e	1 e	1 e	1 e	1 d	1 d	1 b	6 a	a
THS	THS	THS	THS	THS	THS	HS	HS	

THS = Différence très hautement significative (p=0,01), Bi= Bouquet

HS = Différence hautement significative, NS = Différence non significative

RDT = Rendement

Les chiffres 1, 2, 3...12 désignent respectivement : La pouzzolane, les sables siliceux d'Oued Massa, leurs mélanges avec 1/3, 1/2, 3/5, 4/5 des graviers calcaires, les sables de carrière et leurs mélanges avec 1/3, 1/2, 3/5 et 4/5 des graviers calcaires et les graviers calcaires.

La pouzzolane a donné le rendement le plus élevé avec une moyenne de 3,81 kg/plant. Les sables siliceux d'Oued Massa ont donné un rendement presque identique à celui donné par la pouzzolane avec une moyenne de 3,72 kg/plant. Cependant, les sables de carrière et leur mélange avec 1/3 de graviers constituent les substrats les moins performants.

En analysant les rendements donnés par bouquet pour les différents substrats, les résultats obtenus diffèrent de ceux donnés par l'analyse du rendement global. En effet, pour le 1^e, le 2^e et le 3^e bouquet les substrats diffèrent d'une manière très hautement significative avec une nette distinction entre la pouzzolane et les sables siliceux d'Oued Massa. De même, le mélange 1/3 graviers + 2/3 sables siliceux d'Oued Massa a pris la place du mélange 1/2 graviers + 1/2 sables de carrière. Pour le 4^e et le 5^e bouquet la différence est aussi très hautement significative. Cependant, pour ces deux bouquets le classement des substrats est nettement différent des autres. Dans ce dernier cas, les groupes ne chevauchent pas, le groupe 1 regroupe les substrats les plus performants (Pouzzolane, sables siliceux d'Oued Massa, le mélange

3/5 graviers + 2/5 sables de carrière et le mélange 1/2 graviers + 1/2 sables de carrière). Le dernier groupe regroupe les substrats moins performants (les sables de carrière et le mélange 1/3 graviers + 2/3 sables de carrière). Les graviers calcaires sont classés seuls dans un groupe plus ou moins performant.

Ces différences entre les substrats concernant le rendement global et le rendement par bouquet, pourront être expliquées par les différentes caractéristiques physiques des substrats. Ceci sera illustré, dans ce qui suit, par les relations qui lient le rendement à ces caractéristiques.

Le rendement exportable

Les rendements exportables obtenus sur les différents substrats varient dans une gamme restreinte de valeurs variant en moyenne entre 2,45 kg/plant pour les sables de carrière et 3,33 kg/plant pour la pouzzolane.

L'analyse statistique a montré une différence hautement significative entre les substrats. Le test de Newman et Keuls a classé les différents substrats en deux groupes, le groupe I est formé des sables de carrière, de leur mélange avec 1/3 de graviers, le mélange 1/3 graviers + 2/3 sables siliceux d'Oued Massa et des graviers seuls. L'autre groupe se constitue du reste des substrats. Ce dernier groupe regroupe les substrats ayant donné les rendements exportables les plus élevés. Il est à noter que ce dernier groupe contient les substrats les plus aérés.

Analyse des paramètres de la qualité

La fermeté, le pH, l'acidité, le taux des matières solides solubles et le taux de matière sèche sont présentés dans le tableau 3. Ces résultats trouvés sont du même ordre que ceux trouvés par Mizrahi (1982), Deave (1985), Buret et Dupart (1987), Mars *et al.* (1987), Sedki (1991) et Fkihi (1992).

Tableau 3. Différents paramètres de la qualité des fruits donnés par les différents substrats utilisés

	Fermeté(g)	Acidité (g/100 ml de jus)	pH du jus	Matières solides solubles (g/100ml de jus)	Matière sèche (g/100ml de jus)
p	565,6 a	0,590 a	4,17 a	5,82 a	6,71 a
S1	491,9 a	0,695 ab	4,20 a	4,81 a	5,75 a
2/3S1+1/3G	476,9 a	0,740 abc	4,21 a	4,18 a	5,73 a
1/2S1+1/2G	496,3 a	0,630 abc	4,20 a	4,89 b	5,45 a
2/5S1+3/5G	515,6 a	0,710 abc	4,24 a	5,73 b	6,62 a
1/5S1+4/5G	571,3 a	0,690 abc	4,16 a	5,77 b	6,73 a
S2	555,8 a	0,880 abc	4,16 a	4,21 c	5,55 b
2/3S2+1/3G	510,0 a	0,680 abc	4,20 a	4,25 c	5,54 b
1/2S2+1/2G	533,8a	0,610 bc	4,18 a	4,79 c	5,52 b
2/5S2+3/5G	473,1 a	0,650 c	4,32 a	5,79 c	6,76 b
1/5S2+4/5G	541,9 a	0,690 c	4,08 a	5,76 c	6,65 b
G	568,8 a	0,720 d	4,09 a	5,80 c	6,78 b

P = Pouzzolane, G = Gravier calcaire, S1 = Sables siliceux d'oued Massa, S2 = Sables de carrière

L'analyse statistique a dégagé qu'il n'y a pas de différence significative entre les substrats concernant ce paramètre, ce qui montre que ce dernier est influencé par des facteurs autres que la nature du substrat (ex : la composition de la solution nutritive). La même conclusion a été tirée par Mars *et al.* (1987). De même, la comparaison de nos résultats à ceux déjà trouvés s'avère difficile vu la diversité des méthodes d'appréciation de ce paramètre.

Concernant le pH du jus, il a été révélé que les substrats n'ont aucun effet significatif sur le pH des fruits. Pour l'acidité des fruits (tableau 3) qui donne une idée sur la concentration en acide citrique du jus des fruits, l'analyse statistique a révélé que les substrats ont un effet hautement significatif sur l'acidité des fruits.

Pour le taux de matière sèche (T.M.S.), l'analyse statistique a révélé que la nature du substrat a un effet très hautement significatif sur le taux de matière sèche des fruits. Le test de Newman et Keuls a groupé les substrats en deux groupes. Le premier groupe regroupe les substrats les plus aérés contrairement à l'autre qui regroupe les moins aérés. De même, pour le taux des matières solides solubles (M.S.S.), l'analyse de la variance a dégagé que la nature du substrat a un effet très hautement significatif. Le test de Newman et Keuls a classé les substrats en trois groupes homogènes. De même que pour la matière sèche, les substrats les plus aérés sont ceux qui ont donné les taux de matières solides solubles les plus élevés. Ceci est peut être dû à leur faible rétention en eau et à l'oxygénation adéquate de la partie racinaire des plantes.

Relations entre les performances agronomiques et les caractéristiques physiques

Plusieurs recherches ont montré que les caractéristiques physiques des substrats ont soit un effet direct ou indirect sur le rendement et la qualité de la production des plantes (Bunt 1961 ; Bunt 1974 ; Hillel 1980 ; Davis et Hobson 1981 ; Fonteno *et al.* 1981 et Buret et Dupart 1987).

Pour mieux comprendre ces effets, des relations ont été établies d'une part entre le rendement et les différentes caractéristiques des substrats et d'autre part entre la qualité et ces mêmes caractéristiques.

Les composantes du rendement

Les différentes relations, ajustées d'une manière linéaire et non linéaire, entre les caractéristiques physiques des substrats et les rendements globaux et exportables donnés par ces derniers, ont révélé que : (NB : pour les caractéristiques liées d'une manière très hautement significative entre elles, seulement la meilleure relation est étudiée).

□ le rendement global est corrélé à la porosité totale (fig. 1) et il est hautement corrélé à la teneur en air (fig. 2). Ceci montre le rôle important joué par l'aération du système racinaire qui se mesure en réalité par la teneur en air et non pas par la porosité totale qui renseigne en général sur la part occupée par l'air et celle occupée par l'eau. Pour mieux interpréter ces relations, des formes non linéaires ont été établies entre le rendement et ces deux caractéristiques. Les formes de nature logarithmique ont montré que le rendement est lié d'une manière très hautement significative à la teneur en air (fig.2). Toutes ces relations montrent l'effet positif

de l'aération du système racinaire qui permet un équilibre gazeux optimal (respiration, dégagement du CO₂,...), qui peut se traduire par une alimentation en eau et en éléments fertilisants adéquate et par la suite par l'augmentation du rendement ;

□ le rendement est corrélé d'une manière très hautement significative à la disponibilité en eau avec un coefficient de corrélation $r = 0,94^{***}$ (fig.3). C'est à dire que les substrats ayant une disponibilité en eau élevée donnent les rendements les plus élevés. Ceci peut apparaître contradictoire puisque l'eau n'était pas un facteur limitant mais peut être expliqué par l'évolution des caractéristiques des substrats en cours de culture et en particulier la disponibilité en eau. L'ajustement non linéaire n'améliore le coefficient de corrélation que de 0,01 ($r = 0,95^{***}$) ce qui revient à la définition de la notion de disponibilité en eau.

Pour mieux savoir l'effet multiple des caractéristiques sur le rendement, des régressions multiples ont été établies. La porosité totale, la teneur en air, la disponibilité en eau et la rétention en eau expliquent 92,13 % du rendement avec un coefficient de corrélation multiple $r = 0,96^{***}$. En éliminant la rétention en eau dans l'équation, le reste des caractéristiques expliquent 91,25 % du rendement ($r = 0,96^{***}$) ceci confirme la faible relation liant le rendement et cette caractéristique ($r=0,072$). Donc, c'est la teneur en air, la porosité totale et la disponibilité en eau qui déterminent le rendement.

Les mêmes résultats ont été trouvés pour le rendement exportable avec une légère amélioration des coefficients de corrélation (sauf pour la disponibilité en eau, r (linéaires) = $0,66^*$; $0,77^*$ et $0,94^{***}$ et r (non linéaire) = $0,76^*$; $0,87^{***}$ et $0,88^{***}$, respectivement pour la porosité totale, la teneur en air et la disponibilité en eau et de la détermination de (r^2) ce qui montre l'effet positif que peuvent jouer les caractéristiques d'un substrat sur la qualité. Ceci sera expliqué clairement dans le paragraphe qui suit.

Les paramètres de la qualité des fruits

Tableau 4. Les coefficients de corrélation linéaires entre la qualité des fruits et les caractéristiques des substrats.

	Pt	De	Re	Ta	% Air	Efu
Fermeté	0,09	-0,20	-0,41	0,32	0,23	0,01
Acidité	-0,47	-0,72**	-0,02	0,70**	-0,58*	-0,59*
T.M.S.S	0,43	0,50	-0,65*	0,87***	0,78**	0,53
T.M.S.	0,39	0,30	-0,66*	0,697**	0,70**	0,29
pH	0,15	0,26	0,32	-0,08	-0,16	0,22

Pt = Porosité totale (% de volume), De = Disponibilité en eau (% volume)

Re = Rétention en eau (% poids frais), Ta = Teneur en air (% volume)

% Air = (Ta/Pt), Efu = Eau facilement utilisable

T.m.s.s. = Taux des matières solides solubles (g/100 ml de jus)

T.m.s = Taux de matière sèche (g/100 ml de jus)

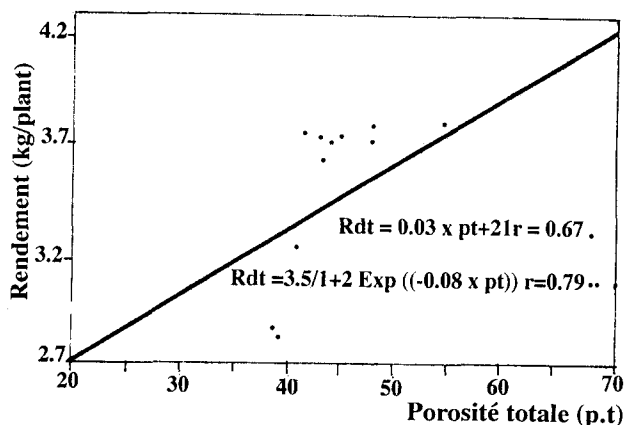
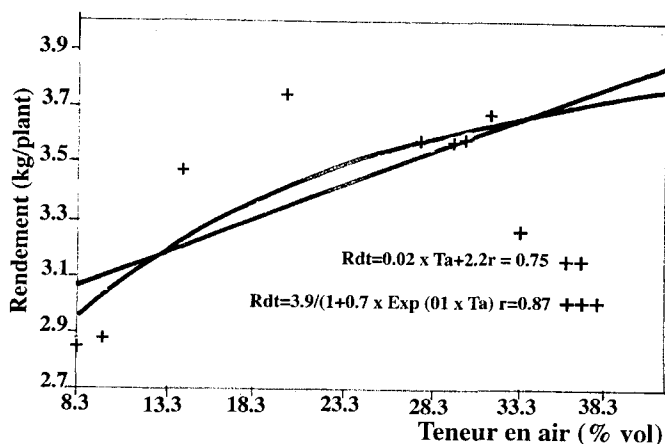


Figure 1. Relation entre le rendement global et la porosité totale

Figure 2. Relation entre le rendement global et la teneur en air



La fermeté et le pH des fruits ne sont corrélés à aucune caractéristique des substrats. Ceci confirme la non influence des caractéristiques sur la fermeté et le pH des fruits.

L'acidité est liée négativement et linéairement d'une manière hautement significative à la teneur en air et à la disponibilité en eau. Ceci veut dire qu'une fois la teneur en air et la disponibilité en eau augmentent, l'acidité des fruits diminue. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'eau est disponible et l'aération du système racinaire est élevée, la formation de l'acide citrique se ralentit ou bien sa concentration se dilue.

Le taux de matières solubles (T.M.S.S.) est corrélé linéairement, d'une manière très hautement significative à la teneur en air (fig. 4), ce qui veut dire que les substrats les plus aérés donnent les fruits les plus riches en matières solubles. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'aération adéquate du système racinaire permet une absorption meilleure des éléments minéraux. Ce qui est bien illustré par l'ajustement non linéaire qui est d'autant plus vraie que le substrat a une teneur en air plus élevée.

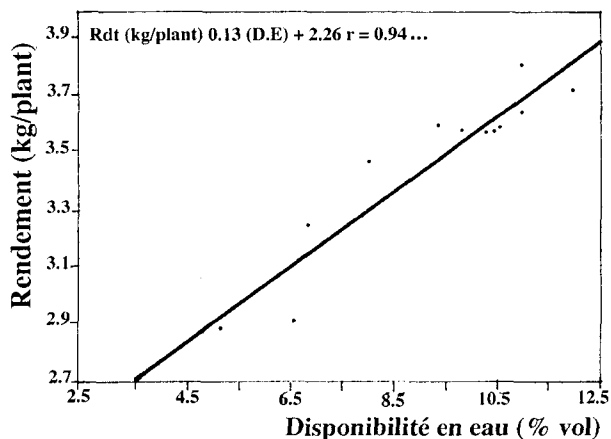


Figure 3. Relation entre le rendement global et la disponibilité en eau

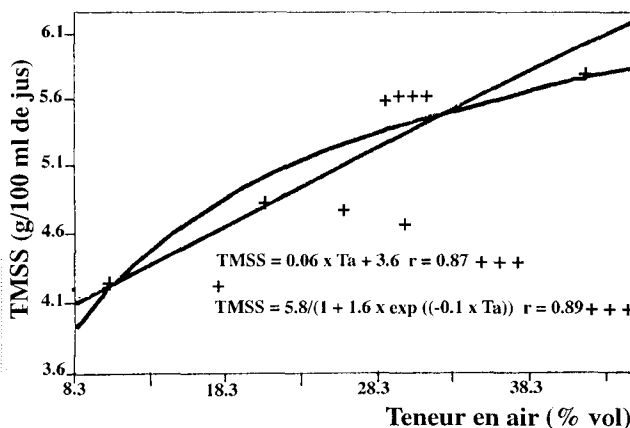


Figure 4. Relation entre le taux de matières solides et la teneur en air

De même, il est linéairement et négativement corrélé d'une manière significative à la rétention en eau. Cette relation négative peut être due au fait que les substrats qui retiennent moins d'eau auront des fruits ayant une concentration élevée en éléments solubles (il y a moins d'eau dans les fruits).

La liaison multiple entre le T.M.S.S. et les autres caractéristiques montre que la porosité totale, la teneur en air, la disponibilité et la rétention en eau expliquent 91 % de ce taux.

Le taux de matière sèche est lié linéairement, d'une manière significative, à la teneur en air mais non corrélé à la porosité totale. En ajustant ces relations d'une manière non linéaire, les coefficients de corrélation sont améliorés de 0,14-0,02 respectivement pour la porosité totale et la teneur en air.

Les composantes du rendement et les paramètres de la qualité

L'ensemble des caractéristiques physiques et physico-chimiques des substrats et des paramètres liés au rendement et à la qualité de la tomate, obtenus à travers cette étude, diffèrent d'un sub-

strat à l'autre. Ainsi nous avons opté pour une analyse factorielle discriminante, afin de pouvoir différencier les substrats et déterminer les caractéristiques qui donnent le meilleur rendement et la bonne qualité.

Cette analyse a permis de classer les substrats en cinq ensembles

Le premier ensemble constitué par la pouzzolane qui est caractérisée par une porosité totale et une teneur en air élevées avec une disponibilité en eau et une rétention en eau les plus élevées. Elle a donné des fruits ayant des taux de matières sèches et solides solubles élevés. De même, ce substrat a donné le meilleur rendement.

Le deuxième ensemble constitué par les sables siliceux d'Oued Massa qui est caractérisé par une porosité totale élevée, une rétention en eau et une disponibilité en eau élevées. Mais, il est caractérisé par une teneur en air faible. Ce substrat a donné des fruits ayant des taux de matières sèches et solides solubles faibles. De même, il a donné un rendement élevé proche de celui donné par la pouzzolane.

Le troisième ensemble constitué par les mélanges 1/2, 3/5 et 4/5 graviers calcaire et 1/2, 2/5 et 1/5 sables (respectivement pour les deux types de sables). Ces substrats sont caractérisés par une porosité totale et une teneur en air peu élevées, mais ils ont une rétention et une disponibilité en eau faibles. Les mélanges constitués par plus de 50 % de gravier calcaire ont donné des fruits ayant des taux de matières sèches et solides solubles élevés contrairement aux mélanges constitués par moins 50 % de gravier. Ils ont donné des rendements élevés, mais qui sont inférieurs à ceux donnés par les substrats des deux premiers ensembles.

Le quatrième ensemble constitué par les graviers qui sont caractérisés par une porosité totale et une teneur en air peu élevées. Ils ont une disponibilité en eau et une rétention en eau faibles. De même, les fruits issus de ce substrat ont des taux de matières sèches et solides solubles élevés. Ce substrat a donné un rendement moyen inférieur à celui donné par les substrats des trois premiers ensembles.

Le cinquième ensemble constitué par les sables de carrière et par le mélange 1/3 graviers + 2/3 sables (respectivement pour les deux types de sables). Ces substrats sont caractérisés par une porosité totale, une teneur en air, une disponibilité en eau et une rétention en eau faibles. De même, ils ont donné des fruits ayant des taux de matières sèches et solides solubles faibles. Ces substrats ont donné les plus faibles rendements.

Conclusion

Les rendements donnés par les différents substrats diffèrent d'une manière très hautement significative d'un substrat à l'autre. La pouzzolane et les sables siliceux d'Oued Massa ont donné les meilleurs rendements, par contre, les sables de carrière et leur mélange avec 1/3 des graviers ont donné les rendements les plus faibles.

Les différentes corrélations établies montrent que la porosité totale et surtout la teneur en air ainsi que la disponibilité en eau des substrats sont les caractéristiques ayant un effet déterminant sur les composantes principales du rendement. De même, ces relations ont montré que les caractéristiques physiques des substrats n'ont pas d'effet sur la fermeté des fruits et le pH de leur

jus. Par contre, elles ont un effet plus ou moins marqué sur l'acidité, les taux des matières solides solubles et la matière sèche des fruits.

Les substrats utilisés peuvent être classés par ordre croissant selon leurs performances quantitatives et qualitatives comme suit : la pouzzolane, les sables siliceux d'Oued Massa, les mélanges contenant au moins 50 % des graviers calcaires, les graviers calcaires et en dernier lieu les sables de carrière et les mélanges constitués par 33 % (1/3) de graviers calcaires et 67 % (2/3) des sables.

Références bibliographiques

- Anstett A. (1979). Les matières plastiques : caractéristiques et utilisation. P.H.M. *Revue horticole*, **195**, Mars 1979, 25-32.
- Blanc D. (1978). Les cultures sur substrats en hors sol. *PHM Rev. hort.* 190,41-44.
- Benoit F. (1990). La culture à haute technologie des légumes sous serre. *Revue de l'agriculture* **4(40)** : 905-913.
- Buret M. et Duprat F. (1987). Etude de la qualité de la tomate. Approche méthodologique et influence des systèmes de culture. in. Les cultures hors sol (D. Blanc), 2^e éd., INRA. Paris : 361-387.
- Bunt A.C. (1961). Some physical properties of peat plant composts and their effects on plant growth. I. Bulky physical conditions. *Plant & soil*, **13**, 322-323.
- Bunt A.C. (1974). Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth, *Acta horticulture*, **37 p.**, 1954-1965.
- Crozen J.B. et Neyroud J.A. (1990). Etude des caractéristiques physiques de quelques substrats en horticulture. *Revue suisse vitic. arboric.* **Vol. 22 (6)** : 411-416.
- De Boodt M. et Verdonck O. (1972). The physical properties of the substrats in horticulture, *Acta horticulturae*, **26**, p. 37-44.
- Davies J.N. et Hobson G.E. (1981). The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition and genotype. *Crit. Rev. Food sci. nutr.* **15**, 205-280.
- Deave D.A. (1985). A comparaison for the fruit quality of tomatoes grown in soil and in a nutrient solution (Nft). Meldinger fra Norges Landbrukshogskole 1985, 64/12, 10p.
- Fkihi A. (1992). Etude comparative d'une culture sous serre de tomate sur laine de roche et en plein sol. Mém. fin étude., CHA, Agadir.
- Fonteno W.C., Cassel D.K. and Larson R.A. (1981). Physical properties of three container media and their effect on poinsetia growth. *J. Amer. Soc. Hort.sci.*, **106**, 736-741.
- Fournier G. (1979). Comportement physique et mécanique de quelques substrats et mélanges utilisés en horticulture. Mémoire fin d'études Enith Angers, 29 p.
- Franclot A. (1977). Annale de recherches sylvicoles Afocel, Paris, France.
- Gras R. (1987). Propriétés physiques des substrats. in. Les cultures hors sol (D. Blanc), 2^e Edition INRA. Paris, 409p : 79-126.
- Hanan J.J. et Langhans R.W. (1961). Soil aeration : Introduction and characterisation of greenhouse soils. N.Y. State flower Gro.Bul 192.

- Hillel N. (1980). The gaseous phase in Fundamentals of soil physics. 1 Vol. Academic press.
- Jennequin B., Brun R., Guimbarde C. et Corre J. (1987). Les systèmes de culture hors sol (D.Blanc), 2^e Edition, INRA, Paris, 409p : 251-280.
- Lemaire F., Dartigues A., Riviere L.M. (1980). Properties of substrates with ground pine bark, *Acta horticulturae*, **99**, p.67-80.
- Luque A. (1981). Physical and physico-chemical properties of the volcanic materials used in hydropony, *Acta horticulturae*, **126**, p.51-55.
- Mars S., Otto C. et Blanc D. (1987). Les systèmes de la culture de substrat et de la nutrition. in. Les cultures hors sol (D. Blanc), 2^e Edition, INRA, Paris, 409p : 347-359.
- Mimouni A., et Sedki M. (1992). Les cultures hors sol au Maroc : Situation actuelle et perspective d'avenir. INRA, CRRA-Souss-Sahara, Agadir.
- Mizrahi Y. (1982). Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant physiol.* **69** : 966-970.
- Prasad M. (1979). Physical properties of media for container grow crops New Zealand peats and wood wastes, Il Peat mixes, *Scientia horticulturae*, **10**, 317-330.
- Puustjarvi V. (1974). Physical properties of peat used in horticulture, *Acta horticulturae*, **37**, p.1922-1929.
- Puustjarvi V. and Roberston R.A. (1975). Physical and chemical properties (523,32) in. Robertson D.W & J.G.D Lamb (1975) peat in. horticulture I Vol. Academic Press.
- SASMA (1986). Rapport d'activité de la SASMA, 24 p.
- Sedki M. (1990). Enquête sur les cultures hors sol au Maroc. INRA-CRRA-Souss-Sahara, Agadir.
- Sedki M. (1991). Comparaison de quatres substrats locaux pour la conduite de tomate hors sol. Rapport de fin de stage. INRA-CRRA-Souss- Sahara, Agadir.
- Sonneveld C. (1980). Growing cucumbers and tomatoes in rockwool, Intern. Cong. on Soilles cult, Wageningen, p. 253-263.
- Van Dijk H. (1976). Physical characterisation of peat products and plant substrates, Inst. for Soil. Fertility, Groningen. 10 p.
- Verdonck O., De Vleeschauwer D. et De Boodt M. (1981). The influence of the substrate on plant growth. *Acta. hort.* **126**, 254-258.
- Verdure M. (1978). « Culture sous serre dans la tourbe ou dans d'autres substrats » P.H.M. *Rev. horti.* **178**, 55-60.
- White J.W. (1965). The concept of «container capacity» and its application to soil moisture fertility regimes in the production of container grown crops. Ph.D. Dissertation. The Pennsylvania state university, University Park. Pa.
- Zuang H. et Muzard M. (1986). Cultures légumières sur substrats. Edit. CTIFL., 3^e trimestre, Paris 276 p.