



## Importance des caractéristiques physiques dans le choix des substrats pour leur utilisation en cultures hors sol

Mimouni A.

Institut national de la recherche agronomique, CRRRA, Souss-Sahara-Agadir, BP : 124 Inezgane, Maroc

### Résumé

*Douze substrats d'origine marocaine ont été caractérisés de point de vue physique pour leur utilisation ultérieure en cultures hors sol. Il s'agit de la pouzzolane, les graviers calcaires, les sables siliceux 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 caractéristiques déterminées sont les densités réelles et apparentes, la porosité totale, la teneur en air, la rétention en eau, la disponibilité en eau, les humidités à pF contrôlés.*

*Les substrats étudiés diffèrent significativement pour la plupart des caractéristiques physiques. Ces caractéristiques permettent de prévoir le comportement de chaque substrat vis-à-vis de l'aération du système racinaire, la disponibilité en eau et celle des éléments fertilisants.*

*La pouzzolane, les sables siliceux d'Oued Massa et les mélanges des sables et des graviers contenant au moins 50 % des graviers et en dernier lieu les graviers seuls, sont les substrats qui se rapprochent le plus du substrat optimum ou dit « idéal ».*

**Mots-clés :** substrat, caractéristiques physiques, hors sol

### **Abstract:** Physical characteristics importance of substratum on soilless culture

*Physical characteristics of twelve moroccan substrata were determined in order to be used in a soilless culture. These substrata are: pouzzolane, calcareous gravel, silicious sand of the Massa river, quarry sand and four sand-gravel mixtures (2/3, 1/2, 2/5, and 1/5 of sand and 1/3, 1/2, 3/5, and 4/5 of gravels). The characteristics were : particle density, bulk density, porosity, air content, water retention, available water and moisture at controled pF.*

*Significant differences were found between substrata for most characteristics. These characteristics can be used to prospect the compartment of substrata regarding root aeration, water and fertilizer availability.*

*The best substrata were ranked as follow : pouzzolane, the silicious sand of the Massa river, the sand-gravel mixtures containing at least 50 % of the gravel and in last the gravel alone.*

**Key words :** Substratum, hydroponic, physical characteristics

## ملخص : أهمية الخصائص الفيزيائية في اختيار الجواهر من أجل استعمالها في الزراعات خارج التربة

ميموني ع.

المركز الجهوي للبحث الزراعي لأكادير، المغرب

لقد تمت دراسة الخصائص الفيزيائية لاثني عشرة جوهرا مغربياً و ذلك قصد استعمالهم في زراعة الخضروات خارج التربة، هذه الجواهر هي : البذرلان، رمل واد ماسة السلسي، رمل الترسبات، أربعة جواهر متكوّنة من خليط الحصى و الرمل (3/2, 2/1, 5/2, 5/1 رمل و 3/1, 2/1, 5/3, 5/4 حصى) وأخيرا الحصى وحده.

الخصائص الفيزيائية التي تمت دراستها هي : الكثافتين الحقيقية و المرئية، المسامة العامة، الحجز الهوائي و المائي و الماء السهل للإستعمال. إن الجواهر التي تمت دراستها تختلف فيما بينها تقريبا من ناحية كل الخصائص.

إن هذه الخصائص تمكّنا من معرفة تعامل كل جوهر من حيث تهوية جذور النباتات و كذلك حاجياتها من الماء و المواد المعدنية.

البذرلان و رمل واد ماسة السلسي، و كل خليط يحتوي على أكثر من 50 % من الحصى لهم خصائص فيزيائية تقارب خصائص الجواهر المسمى بالمثالي.

**كلمات مفتاحية :** الخصائص، الجواهر، الفيزيائية، الزراعة خارج التربة

## Introduction

Dès l'introduction des cultures hors sol au Maroc en 1986, le choix du substrat a toujours posé aux maraîchers de nombreux problèmes sérieux. En effet, les substrats utilisés par les agriculteurs sont d'origine locale tels que les sables, les graviers et leurs mélanges. Ces substrats présentent l'inconvénient d'avoir une densité apparente élevée, une porosité totale et une teneur en air faibles, par rapport aux autres substrats horticoles (pouzzolane, perlite, laine de roche,...). De même, ces substrats n'ont jamais fait l'objet d'aucune analyse au laboratoire que ce soit physique ou physico-chimique pour prévoir le comportement de chaque substrat seul ou en mélange, en particulier les problèmes liés à l'aération, à la rétention en eau, à la stabilité structurale, à la disponibilité de l'eau et des éléments minéraux, au drainage,...etc. D'après plusieurs auteurs (Ellis et Swwaney 1953 ; cité par Blanc 1978 ; De Boodt 1975 ; Ridlich et Verdure 1975 ; Franclet 1977 ; Blanc 1978 ; Verdonck *et al.* 1978 ; Rivière 1980 et Gras et Agius 1982a et 1982b), les caractéristiques physiques sont pratiquement incorrigibles au cours du cycle de la culture. Ce qui implique l'utilisation de substrats à caractéristiques physiques plus ou moins stables ou bien le recours à la confection de mélanges de substrats ayant des caractéristiques complémentaires. Dans ce dernier cas comme l'ont signalé plusieurs auteurs (Fournier 1979 ; Anstett et Pasquier 1982 ; Gras et Agius 1983), il faut tenir compte des interactions qui peuvent se produire entre les différents constituants de chaque substrat.

Dans le but de contribuer à résoudre les problèmes sus-mentionnés posés par les caractéristiques physiques et par la suite aider à résoudre le problème du choix du substrat, la présente étude s'est fixée comme objectifs principaux :

- la caractérisation de différents substrats locaux déjà utilisés par les agriculteurs tels que les sables, les graviers et leurs mélanges comparés à la pouzzolane ; substrat national ayant donné des résultats agronomiques satisfaisants ;
- la comparaison des caractéristiques de chaque substrat à celles du substrat dit « idéal » ou optimum proposé par Blanc (1978), Lemaire et Rivière (1982) et De Boodt et Verdonck (1972).

## Matériel et méthodes

### Les substrats utilisés

Dans la région d'Agadir, les substrats les plus disponibles sont les sables et les graviers. Les substrats de base utilisés dans l'essai sont les sables de carrière issus des formations sableuses déposées en bordure de l'océan atlantique, les sables siliceux de Oued Massa issus des alluvions libres, constituées des sables remplissant les lits des oueds creusés à des épaisseurs variables (Dijon 1969). Les graviers utilisés proviennent du concassage des formations calcaires de différents âges se trouvant dans la région d'Agadir.

Les roches ou résidus pouzzolaniques utilisés sont celles du Maroc central où les émissions volcaniques forment une chaîne de volcans démantelés dans la région d'Ifrane-Azrou et sur le plateau de Timahdit, Michlifène et Jbel Habri.

Comme il a été déjà signalé, les sables présentent l'inconvénient d'une densité apparente élevée et d'une porosité totale et surtout une teneur en air faible, comparativement aux autres substrats horticoles. Nous allons alors tenter de corriger ces propriétés physiques par l'adjonction des graviers calcaires qui est un matériau plus poreux et disponible. Quatre mélanges (sables + graviers) ont été confectionnés (tableau 1). La méthode adoptée pour constituer ces mélanges est celle se basant sur la préparation de mélanges en diverses proportions. Le choix de ces mélanges est basé surtout sur les travaux de Franclet (1977) qui se base sur la préparation de mélanges allant par pas de 10 % et sur celles de Zuang et Muzard (1986) qui suggèrent des proportions supérieures à 30 % des graviers. De même d'après Moinereau *et al* (1987), l'addition de moins de 30 % de gravier n'améliore aucune caractéristique du mélange. Ainsi nous avons confectionné les quatre mélanges en commençant par 33 % de gravier puis 50 %, 60 % et 80 %.

**Tableau 1.** Les substrats de base et les mélanges utilisés

Substrats	Symbole
Pouzzolane	P
Sables siliceux d'Oued Massa	S1
Sables de carrière	S2
Graviers calcaire	G
2/3 sables d'Oued Massa + 1/3 graviers	2/3S1 + 1/3G
1/2 sables d'Oued Massa + 1/2 graviers	1/2S1 + 1/2G
2/5 sables d'Oued Massa + 3/5 graviers	2/5S1 + 3/5G
1/5 sables d'Oued Massa + 4/5 graviers	1/5S1 + 4/5G
2/3 sables de carrière + 1/3 gravier	2/3S2 + 1/3G
1/2 sables de carrière + 1/2 graviers	1/2S2 + 1/2G
2/5 sables de carrière + 3/5 graviers	2/5S2 + 3/5G
1/5 sables de carrière + 4/5 graviers	1/5S2 + 4/5G

## Caractérisation physique des substrats

### La porosité totale

La porosité totale est calculée à partir de la densité apparente ( $D_a$ ) et de la densité réelle ( $D_r$ ) :  $P$  (% volume apparent) =  $(1 - D_a/D_r) \times 100$ .

La densité apparente (masse du matériau sec/volume apparent :  $g/cm^3$ ) est mesurée sur 250 ml de substrat apportés par couches successives comprimées sous une pression de  $5N/m^2$  dans un cylindre de diamètre 7,5 cm, fermé à sa base par une toile de nylon, (Naja 1984).

La densité réelle est déterminée à l'aide d'un pycnomètre à air pour les substrats de base (Blake et Hartge 1986), pour les mélanges elle est estimée selon les proportions utilisées.

## La capacité de rétention en eau

La méthode utilisée est celle proposée par Redlich *et al* (1975) cités par Anstett (1979). Cette méthode consiste à la pesée d'une motte de substrat après ressuyage à atmosphère saturée d'eau (P) puis après séchage à 105 °C jusqu'au poids constant (P'). La rétention en eau (R.E.) se calcule comme suit : R.E. (rétention en eau en % poids frais) =  $((P-P')/P)*100$ .

## L'humidité à pF contrôlés

La méthode utilisée est celle proposée par Richards (1947). Le principe général consiste en remplissage de 20 g de substrats dans des anneaux d'environ 100 cm<sup>3</sup>. Après saturation, l'ensemble est mis dans la marmite à plaque poreuse fermée hermétiquement puis on installe la pression voulue. Après avoir atteint l'équilibre, à la pression fixée (18 à 20 heures), la pression de l'appareil est relâchée et on pèse les échantillons à l'état humide et à l'état sec.

Pour interpréter les résultats de ce paramètre, on se base sur les travaux de Lemaire et Riviere (1982) qui a défini un substrat optimum comme ayant les valeurs suivantes :

- L'eau facilement utilisable : E.F.U. =  $pF1-pF1,7$  (20 à 30 %) ;
- La résistance à la sécheresse ou l'eau difficilement utilisable : E.D.U. =  $pF1,7-pF2$  (4 à 10 %) ;
- La disponibilité en eau est définie suivant le même auteur par la différence  $pF1-pF2$  ;
- La teneur en air à  $pF1 = V_a - (V_r + V_e)$  ;
- $V_a$ =Volume apparent (%) et  $V_e$  = Volume d'eau (%), sont mesurés ;
- $V_r$ =Volume réel calculé par le quotient masse de substrat/masse volumique réelle.

## Résultats et discussion

### Caractérisation des substrats

#### Analyse granulométrique

Les sables siliceux d'Oued Massa ont une distribution assez homogène et ont des coefficients d'uniformité et de courbure respectivement de 34 et 26. En effet, les sables grossiers (2 à 0,5 mm) représentent 80 % et les sables fins (0,5 à 0,2 mm) ne représentent que 13 %. Cependant, les sables de carrière ont une distribution hétérogène puisque les sables grossiers et fins représentent respectivement 40 % et 55 % et leurs coefficients d'uniformité et de courbure respectivement sont de 59 et 1,4. Les sables utilisés contiennent peu d'argile et peu

de limon, respectivement 6 % et 2 % pour l'argile et 2,4 % et 4,8 % pour le limon (tableau 2). Ceci peut provenir soit des formations argileuses où sont déposés les sables des Oueds soit des sédiments qui se sont accumulés dans les sillons.

Les graviers calcaires sont dominés par la fraction comprise entre 1 à 2 cm (81 %). Par contre la pouzzolane est dominée par la fraction comprise entre 1 cm à 5 mm et qui représente environ 60 %.

**Tableau 2.** Analyse granulométrique des substrats de base utilisés

Les sables							
Sables siliceux d'Oued Massa				Sables de carrière (S2)			
% Sable grossier	% Sable fin	% Limon	% Argile	% grossier	% sable fin	% limon	% Argile
80,2	13,0	2,4	6,0	40,06	54,7	4,8	2,0
Gravier calcaire (G)				Pouzzolane (P)			
>2cm	2-1 cm	1 cm- 5 mm	5-2mm	>1cm	1cm-5mm	5-2mm	<2mm
2,0	81,0	10,0	7	2,2	60,4	38,0	1,4

## Caractéristiques physiques et hydriques des substrats

Les caractéristiques physiques et hydriques des substrats sont présentées dans le tableau 3.

### Densité réelle et apparente

Tous les substrats utilisés ont des densités réelles et apparentes élevées (Tableau 3). Le comportement des substrats vis-à-vis des mélanges varie selon sa confection. En effet, l'addition des graviers calcaires aux sables siliceux d'Oued Massa a permis une augmentation de la densité apparente des mélanges et une diminution par rapport à celle des graviers (tableau 3). Ceci peut être expliqué par le fait que lorsqu'on mélange ou on soumet des milieux granulaires (surtout non isodiamétriques) à des chocs (pression pour déterminer la densité apparente) la position des grains tend vers un arrangement plus compact en glissant les uns par rapport aux autres (les sables occupent les vides entre les grains des graviers) ainsi le volume encombré décroît jusqu'à l'équilibre (Gras 1987). La même tendance pour les sables de carrière sauf pour le mélange 2/3 sables + 1/3 graviers ayant une densité apparente dans le même ordre que celle des sables et des graviers. Ceci peut être dû à la présence de 55 % de sables fins donc le glissement ne se fait pas comme dans le cas des sables siliceux d'Oued Massa (où les sables grossiers représentent 80 %).

**Tableau 3.** Caractéristiques physiques et hydriques des substrats étudiés

Substrats	D.R g/cm <sup>3</sup>	D.A g/cm <sup>3</sup>	P.T %/cm <sup>3</sup>	R.E.E % pd. Frais	E.F.U U	E.D.U à pF1	T.E.A à pF1	D.E.E (% vol)
P	2,68	1,03	61,57	12,8	10,0	1,2	41,2	11,2
S1	2,64	1,26	52,27	13,1	8,8	3,2	20,5	12,0
2/3S1+1/3G	2,62	1,52	41,98	13,6	6,1	2,0	14,6	8,0
1/2S1+1/2G	2,63	1,51	42,58	12,3	9,4	0,5	27,6	9,9
2/5S1+3/5G	2,60	1,46	43,82	11,2	10,3	0,2	30,4	9,4

Tableau 3. (Suite)

Substrats	D.R g/cm <sup>3</sup>	D.A g/cm <sup>3</sup>	P.T %/cm <sup>3</sup>	R.E.E % pd. Frais	E.F.U	E.D.U U	T.E.A à pF1	D.E.E (% vol)
1/5S1+4/5G	2,60	1,40	46,15	10,8	9,8	0,7	30,2	10,5
S2	2,54	1,56	38,58	12,6	5,1	3,8	8,3	5,1
2/3S2+1/3G	2,56	1,58	38,28	12,5	4,2	2,2	10,6	6,4
1/2S2+1/2G	2,57	1,55	39,69	12,4	9,6	1,1	31,0	10,7
2/5S2+3/5G	2,58	1,39	46,12	10,5	8,2	2,9	31,4	11,1
1/5S2+4/5G	2,58	1,51	41,47	11,0	8,0	2,3	29,9	10,3
G	2,60	1,55	40,38	07,2	5,1	1,7	32,7	6,8

D.R = Densité réelle ; D.A = Densité apparente ; P.T = Porosité totale ; R.E.E=Rétention en eau ; E.D.U = Eau difficilement utilisable ; T.E.A = Teneur en air ; D.E.E = Disponibilité en eau ; vol = volume

P = Pouzzolane ; G = Gravier calcaire ; S1 = Sables siliceux d'Oued Massa ; S2 = Sables de carrière

### Porosité totale et teneur en air

Ces deux caractéristiques donnent une idée générale sur l'état d'aération des substrats. Elles ont des valeurs assez élevées pour les substrats utilisés (tableau 3). La porosité des sables et des graviers est inférieure à 50 % et elle est due seulement à la porosité intergranulaire de vides d'entassement. Par contre, pour la pouzzolane elle est supérieure à 60 % et elle s'agit d'une porosité très grossière et fermée (présence de vacuoles).

Les mélanges contenant 1/3 des graviers sont classés parmi les substrats ayant une porosité totale et une teneur en air faibles. Ces résultats confirment ceux trouvés par Zuange et Muzard (1986) qui indiquent que l'addition de moins de 33 % des graviers aux sables n'améliore ni la porosité totale ni la teneur en air de ces sables mais peut les faire diminuer comme dans le cas des sables siliceux d'Oued Massa. Par contre pour une proportion qui dépasse 33 % de gravier, on note une amélioration de ces deux caractéristiques.

### Capacité de rétention en eau (en % poids frais)

Les substrats utilisés ont des capacités de rétention en eau faibles de moins de 14 % (tableau 3) à cause de leurs teneurs faibles en matière organique et en argile. La pouzzolane et les sables siliceux d'Oued Massa ainsi que leur mélange avec 1/3 des graviers ont des valeurs peu élevées par rapport aux autres substrats. Les premiers contiennent des pores intragranulaires qui peuvent emmagasiner l'eau et les autres contiennent des proportions faibles d'argile et de limon (enrobement).

### Les humidités à pF contrôlés et disponibilité en eau

En utilisant les normes d'interprétation proposées par Lemaire et Rivière (1982), tous les substrats ont une teneur en eau facilement utilisable faible de 4,2 à 10 % (Tableau 4). De même, la teneur en eau difficilement utilisable est faible pour l'ensemble des substrats (0,2 à 3,8 %, tableau 3). Ce qui implique que la résistance à la sécheresse des substrats utilisés est faible d'où l'automatisation de l'irrigation.

Les substrats utilisés ont une disponibilité en eau faible de moins de 12 % (Tableau 3). Dans la pratique, ce paramètre peut servir dans la gestion de l'irrigation comme il a été le cas pour la rétention en eau et l'eau facilement utilisable puisque les substrats les plus aérés sont ceux qui présentent des disponibilités en eau élevée.

## Comparaison des substrats

### Comparaison des douze substrats

La comparaison multiple des différentes caractéristiques pour l'ensemble des substrats est présentée dans le tableau 4.

**Tableau 4.** Comparaison multiple des différentes caractéristiques

Dr	Da	Pt	Ta	De	Re	Efu	Edu
7 a	1 a	8 a	7 a	7 a	12 a	8 a	5 a
8 a	2 a	7 a	8 ab	8 ab	10 b	7 ab	4 a
9 a	10 a	9 ab	3 abc	12 abc	6 b	12 ab	6 a
10 a	6 a	12 ab	2 bcd	3 abc	11 b	3 abc	9 a
11 a	5 a	11 ab	4 cd	5 abc	5 b	11 bc	1 a
6 a	4 a	3 ab	11 cde	4 abc	4 b	10 bc	12 a
5 a	11 a	4 ab	6 cde	11 abc	9 b	2 bc	3 a
12 a	3 a	5 ab	5 cde	6 bc	8 b	4 bc	8 a
3 a	9 a	10 b	9 de	9 bc	7 b	9 c	11 a
4 a	12 a	6 b	10 de	10 c	1 b	6 c	10 a
2 a	7 a	2 c	12 de	1 c	2 b	1 c	2 a
1 a	8 a	1 d	1 e	2 c	3 b	5 c	7 a
NS	NS	THS	THS	THS	THS	HS	HS

THS et HS = Différence très hautement et hautement significative avec  $p=0,01$  et  $0,05$  respectivement. NS = Différence non significative ; Dr = Densité réelle ; Da = Densité apparente ;

Pt = Porosité totale ; Ta = Teneur en air ; De = Disponibilité en eau ; Re = Rétention en eau

Efu et Edf = Eau facilement utilisable et difficilement utilisable

Les chiffres 1, 2, 3,..., 12 désignent respectivement : la pouzzolane

Les sables siliceux d'Oued Massa, leurs mélange 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.

Les sables siliceux d'Oued Massa, leurs mélange 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 est le substrat ayant la porosité totale, la teneur en air, la disponibilité en eau et l'eau facilement utilisable les plus élevées.

Les sables de carrière et leur mélange avec 1/3 des graviers sont les substrats ayant la porosité totale, la teneur en air, l'eau facilement utilisable et la disponibilité en eau les plus faibles. Les graviers retiennent moins d'eau par rapport aux autres substrats



## Comparaison des substrats avec le substrat dit « idéal » ou optimal

La question la plus fréquemment posée en matière de substrats pour les cultures hors sol se ramène souvent à la recherche du substrat idéal. Il n'existe pas en fait une seule réponse à cette question, mais plusieurs :

a- Tout d'abord, on doit mettre en exergue le fait qu'il n'y a pas de « substrat idéal », mais une adéquation entre le substrat et la technique culturale. Ainsi, le substrat doit être adapté aux contraintes imposées par celle-ci. Nous illustrons cela par deux exemples :

- Le premier concerne le bouturage, dans ce cas la nécessité de maintenir un film d'eau à la surface des feuilles impose l'automatisation des irrigations. Le choix d'un substrat très drainant s'impose pour permettre d'éliminer l'excès d'eau ;
- Le second exemple concerne l'élevage en pépinière, dans ce cas il est nécessaire d'utiliser un substrat qui retient plus d'eau par rapport au premier substrat, et que cette eau soit disponible puisque la plante est encore jeune.

b- Lorsque la technique culturale est déterminée préalablement par le type de production, on recherche l'adéquation technique-substrat par l'utilisation de substrats seuls répondants aux exigences de la plante, ou souvent le recours à la confection de mélanges de substrats dont les caractéristiques sont complémentaires et favorables à cette production.

De Boodt et Verdonck (1972), Blanc (1978) et Lemaire et Rivière (1982), ont proposé quelques normes pour le substrat dit « idéal » ou optimal. En faisant une synthèse pour l'ensemble de ces normes, les caractéristiques physiques d'un substrat « idéal » ou optimal pour les cultures hors sol sont comme suit :

- La porosité totale : 40 à 70 % ;
- La teneur en air : 20 à 40 % ;
- L'eau facilement utilisable : 20 à 30 % ;
- L'eau difficilement utilisable : 4 à 10 % ;
- La disponibilité en eau : 10 à 30 %.

En comparant ces normes aux caractéristiques des substrats étudiés, on remarque qu'à l'exception des sables de carrière et leur mélange avec 1/3 des graviers, tous les substrats ont une porosité totale dans les normes du substrat optimum. La même remarque pour la teneur en air sauf pour le mélange 2/3 sables d'Oued Massa + 1/3 graviers qui a une teneur en air faible. Ce qui confirme que l'addition de moins de 50 % des graviers n'améliore pas l'aération des substrats.

Pour l'eau facilement et difficilement utilisable, tous les substrats ont des valeurs inférieures à celles du substrat optimum. Concernant la disponibilité en eau des substrats, les sables de carrière et les mélanges contenant 2/3 sables + 1/3 graviers ainsi que les graviers seuls ont des valeurs loin de l'optimum, les autres substrats sont juste dans la limite inférieure de l'optimum (10 %).

En conclusion à cette partie, on peut classer la pouzzolane, les sables d'Oued Massa et les mélanges des sables et des graviers contenant au moins 50 % des graviers et en dernier lieu les graviers seuls, comme étant les substrats qui se rapprochent le plus du substrat optimum « idéal » défini ci-dessus.

## Conclusion

Les substrats étudiés présentent des caractéristiques physiques qui diffèrent nettement d'un substrat à l'autre. Ces caractéristiques physiques nous permettent de savoir le comportement de chaque substrat seul ou en mélange avant son utilisation en culture (aération, rétention en eau, eau facilement utilisable...). Pour les principales caractéristiques (porosité totale, teneur en air, eau facilement utilisable et la disponibilité en eau), l'addition de moins de 50 % des graviers aux sables fins et grossiers n'entraîne pas une amélioration de ces caractéristiques.

A l'exception des sables de carrière et les mélanges contenant 1/3 des graviers, les autres substrats ont des caractéristiques plus ou moins comparables au substrat optimum.

Ces conclusions nous montrent que la caractérisation des substrats avant leur utilisation en culture hors sol est primordiale pour prévenir leur comportement ultérieur. Pour mieux comparer ces substrats de point de vue pratique et mettre en relief l'importance des caractéristiques physiques dans le choix d'un substrat, une étude de leurs performances agronomiques en relation avec ces caractéristiques est nécessaire ; c'est l'objet de l'étude entreprise sur la culture de la tomate et qui constitue la deuxième partie de notre étude sur les substrats.

## Références bibliographiques

- Anstett A. (1979). Les matières plastiques : caractéristiques et utilisation. P.H.M. *Revue horticole*, **195**, Mars 1979, 25-32.
- Anstett A. et Pasquier P. (1982). Quelques réflexions sur les analyses des substrats *Acta hort.* **126** : 245-249. Blanc, D., 1981 Le problème des substrats en France, *acta hort.* **126** : 19-23.
- Blanc D. (1978). Les cultures sur substrats hors sol. PHM. *Rev. hort.* **190**, 41-44.
- Blacke G.R. et Hartge K.H. (1986). Methods of soil analysis. Part1. in Physical and mineralogical methods (A. Kulte). 2<sup>e</sup> Edi. 377-382p.
- De Boodt M., Verdonck O. (1972). The physical properties of the substrats in horticulture, *Acta horticulurae*, **26**, p. 37-44.
- De Boodt M. (1975). Caractères physiques et disponibilités en eau des substrats. *Annales de Gembloux*, **81**, 59-72.
- Dijon R. (1969). Etude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau de la vallée du Souss. Notes et mémoires du service géologique. N° 214 ; Edition service géologique du Maroc.
- Francllet A. (1977). *Annale de recherches sylvicoles Afocel*, Paris, France.
- Fournier G. (1979). Comportement physique et mécanique de quelques substrats et mélanges utilisés en horticulture. Mémoire fin d'études Enith. Angers, 29p.
- Gras R. (1972). Effets des éléments grossiers sur la dynamique de l'eau dans les sols sableaux. I. Comportement des éléments grossiers poreux vis-à-vis de l'eau. *Ann. agron.* **23**, 197-239.
- Gras R. et Agius I. (1982b). Quelques propriétés physiques de substrats horticoles. P.H.M. *Revue horticole*, **232** : 47-50.

- Gras R. et Agius I. (1983). Quelques propriétés physiques de substrats horticoles P.H.M. *Revue horticole*, **234** : 11-13.
- Gras R. (1987). Propriétés physiques des substrats. in. Les cultures hors sol (D. Blanc), 2<sup>e</sup> Edition INRA. Paris, 409p : 79-126.
- Lemaire F. et Rivière L.M. (1982). Symposium international sur les substrats en horticulture autres que le sol in situ PHM. *Rev. horticole*, **255**, 59-60.
- Moinereau J., Herrmann P., Favrot J.C. et Rivière L.M. (1987). Les substrats inventaire, caractéristiques et ressources. In. Les cultures hors sol (D. Blanc), 2<sup>e</sup> édition, INRA. Paris, 409 p : 37-40.
- Naja K. (1984). Conduite d'une pépinière légumière intensive sur substrats locaux : conditionnement, irrigation, et fertilisation. Mém. fin étude, CHA, Agadir.
- Redlich G.C. et Verdure M. (1975). Le comportement physique des tourbes et terraux en cours de culture. PHM n° **160** : 13-20.
- Rivière L.M. (1980). Importance des caractéristiques physiques dans le choix des substrats pour les cultures hors sol. PHM. *Rev. hort.* **209**, 23-27.
- Verdonck O., Capparet I. et De Boodt M. (1978). Physical characterization of horticultural substrates, *Acta. hort.* **82**, p. 191-198.
- Zuang H. et Muzard M. (1986). Cultures légumières sur substrats. Edit. CTIFL., 3<sup>e</sup> trimestre, Paris 276 p.