



MICROFICHE N°

07568

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

CNDP 7568

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION GENERALE DE
LA PRODUCTION VEGETALE

LES DOCUMENTS TECHNIQUES

de l'utilisation de la géothermie dans le
chauffage des cultures sous-serres

Volume N° II

Pages 097 à 199

(Problèmes de phytotechnie & de qualité)

Publié en Janvier 1991

Projet PNUD/TUN 85/004

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION GENERALE DE
LA PRODUCTION VEGETALE

LES DOCUMENTS TECHNIQUES

de l'utilisation de la géothermie dans le
chauffage des cultures sous-serres

Volume N° II

Pages 097 à 199

(Problèmes de phytotechnie & de qualité)

Publié en Janvier 1991

Projet PNUD/TUN 85/004

SOMMAIRE

	PAGE
- Etat actuel des techniques de Production en Belgique et aux Pays-Bas	97
- Aspect pratique de la physiologie de la floraison et de la mise à fruit chez la tomate et le melon	117
- Les cultures sur substrat : Etat des Acquis en Tunisie et perspectives d'avenir	125
- Le semis direct et son Influence sur le développement du système racinaire de la tomate	145
- Etude comparative de la croissance, du développement et des rendements du melon et de la tomate sous serres chauffées par l'énergie géothermale	159
- La taille des cultures de Melon en culture sous serre chauffée	166
- La qualité de la tomate pour l'exportation	171
- La qualité du Melon pour l'exportation	185

NOTE DE PRESENTATION

Depuis le démarrage des cultures sous-abri plastique au début des années 70, la Tunisie s'était proposée de développer sa production et son exportation de légumes de primeurs. Et après plusieurs années de travail, on a pu sérier les contraintes rencontrées pour réaliser cet objectif ; on peut en citer particulièrement les températures nocturnes trop basses même dans les régions côtières, la maîtrise de l'état sanitaire des cultures et de leur fertilisation ainsi que la bonne connaissance des marchés d'exportation et de leurs exigences.

Pour lutter contre les basses températures, et après plusieurs tentatives d'utilisation de différents types de chauffage on a commencé au milieu des années 80 à développer les possibilités d'utilisation des eaux géothermales dans différents sites du sud et du centre tunisiens, où existent des disponibilités importantes de ces eaux.

Le projet PNUD TUN 85/004 concernant les cultures sous serres chauffées par les eaux géothermales a permis de créer une sensibilisation autour des réalisations en la matière, d'assurer le suivi de ces réalisations ainsi que la formation d'un certain nombre de techniciens régionaux dans ce domaine notamment à travers une dizaine de séminaires de formation effectués entre 1988 et 1990 dans les régions concernées.

Les documents utilisés par les formateurs au cours de ces séminaires étaient ronéotypés et préparés en un nombre limité. Aujourd'hui, ce nombre ne permet pas leur diffusion à l'ensemble des régions et des ingénieurs et techniciens qui pourraient en avoir besoin dans le cadre du développement que connaît actuellement la géo-serriculture.

Aussi, et avec le gracieux accord du PNUD, avons-nous décidé de publier dans le cadre de cette série de volumes, les principaux documents qui ont été préparés et utilisés pour ces séminaires après leur groupage par thème. On pense que l'ingénieur et le technicien y trouveront beaucoup d'intérêt, (même si quelques répétitions sont observées) et ce, que se soit pour la réalisation de leur activité

d'encadrement quotidien des agriculteurs ou pour l'extension de l'utilisation des eaux géothermales pour le chauffage de nouvelles superficies de serres.

Bien entendu, on espère que le développement du secteur et le suivi minutieux par l'ensemble des cadres qui s'y intéressent permettra de perfectionner nos connaissances à chaque campagne. Aussi est-il nécessaire pour tous les cadres régionaux de maintenir le contact avec la cellule "Geothermie" de la Direction Générale de la Production Végétale afin d'améliorer continuellement ce premier référentiel technico-économique.

Le Directeur Général de
la Production Végétale

MALEK BEN SALAH

ETAT ACTUEL DES TECHNIQUES DE PRODUCTION EN BELGIQUE ET AUX PAYS-BAS *

1. Introduction

Dans le domaine de la serriculture, l'horticulteur est obligé d'adapter continuellement ses techniques de production pour suivre ou devancer les changements au niveau du marché.

2. Les techniques de production en Belgique

En matière de cultures maraichères il y a deux régions importantes en Belgique, notamment la région de Meerle et la région de St. Kathelijne Waver.

2.1. Meerle

Dans la région de Meerle on s'est spécialisé en cultures sous serres plastiques et la Station d'Appui de Meerle a développé à partir de monotunnels plusieurs multitunnels dont le prix varie de 4 à 11 DT par m².

Les cultures principales sous serre dans la région sont la tomate et la fraise, mais depuis peu il y a aussi un développement du poivron et de l'asperge forcée.

En Belgique on s'est spécialisé surtout en tomates charnues (bonken). La variété la plus cultivée est Dombito. Les nouvelles hybrides Caruso, Concreto et Capello semblent d'ailleurs plus difficiles à conduire.

Le Botrytis et le Fusarium oxysporum radicis sont les maladies cryptogamiques qui causent le plus de problèmes au niveau de la culture de la tomate.

Le Botrytis cinerea se trouve surtout sur les tiges des plantes de tomate et des traitements avec Ronilan, Rovral et Euparen donnent d'assez bons résultats. Très souvent on a recours maintenant à un traitement au moyen d'un gaz contenant 2% d'Imazalil et 1% d'Aracomazole, distribué à partir d'une bombe contenant le gaz pressurisé.

* 7ème Séminaire National de formation dans le cadre du Projet Géothermie PNUD/TUN/85/004 Gafsa, 21 et 22 Novembre 1989.

Pour lutter contre le *Fusarium oxysporum radicans* les horticulteurs greffent sur des portes-greffes résistants, car les quelques variétés résistantes sont encore de trop faible qualité.

Les mouches mineuses et les mouches blanches sont maîtrisées par l'utilisation de prédateurs respectivement, *Ambleysius* et *Encarsia*, combiné avec des applications à double dose d'Applaud (7 g par 10 l).

La tomate est cultivée en général dans le sol et irriguée par le système goutte à goutte. La fertilisation se fait par injection à partir de 3 bacs de solutions nutritives. La plantation intervient en général début janvier 1989 et début août la production est de l'ordre de 25 kg/m². On étête les plantes au début du mois de septembre et on obtient en général 35 kg/m² vers le début du mois de novembre, date à laquelle on arrachera la culture pour permettre la préparation de la serre pour la nouvelle plantation.

Pour la conduite de la tomate prolongée en pergola on utilise des crochets plastiques pour diminuer les cassures des plantes. La conduite en oblique est la plus utilisée et on utilise des crochets en fil de fer accroché soit verticalement, soit horizontalement au fil de tuteurage. Sur chaque crochet on trouve en moyenne 2 m de ficelle de réserve. Le crochet est déplacé au fur et à mesure que la plante pousse, tout en rallongeant la ficelle. On a également développé un modèle avec un coin de fil.

Pour éviter la cassure des plants de tomate en tournant les plantes autour des ficelles on utilise des bagues plastiques, qui s'agrippent sur la ficelle en les fermant et qui guident la plante le long la ficelle.

Sur le poivron l'oidium Erysiphe et le thrips Californien causent le plus de problèmes. Les thrips se trouvent dans les fleurs et provoquent des petites fentes sur le nez des fruits, ce qui déprécie la qualité des fruits.

Les produits les plus utilisés contre l'Erysiphe sont le Baycor et le Rubigan. Le soufre n'est pas appliqué parce que causant des tâches sur les fruits. Le TMTD est non plus utilisé, car on ne le conseille que pour les fraises et ceci surtout en début de la saison.

Les traitements contre les parasites se font avec des atomiseur "Turbofog". Il

s'agit d'une nébulisation à très bas volume d'eau (2 l/h). L'injection de l'eau contenant le pesticide se fait devant un petit ventilateur qui joue le rôle de propulseur. La distribution dans la serre se fait par un gros ventilateur aspirant et diffusant le mélange propulsé.

Le forçage de l'asperge vise une production en janvier. Les variétés utilisées sont Gemling, Boomling et Puurs.

Dans la région il y a environ 200 hectares plantés en asperge, dont 50 ha sous serre vitrée ou abris plastiques.

Le chauffage de l'asperge sous abris plastiques se fait par des tubes enterrées dans le sol. Le chauffage démarre normalement à partir de mi-janvier et la récolte intervient alors à partir de 15 février. Actuellement le défanage se fait vers le 1 novembre et le 25 décembre on commence à chauffer le sol et la récolte commence alors 3 semaines plus tard.

Sous serre vitrée certains horticulteurs arrivent à produire en janvier et obtiennent alors des prix allant jusqu'à 700 FB (16 DT) le kg. Sous une chapelle de 3m20 on installe 3 lignes et la densité dans la ligne est de 6 à 8 plantes par mètre linéaire.

La culture sous serre vitrée représente un investissement très lourd et nécessite donc une rentrée en production rapide. Afin de pouvoir récolter dès la 1ère année on utilise des griffes de 18 mois. La production de première année est de 1,2 kg/m² et en 2ème année peut dépasser le 2 kg/m² sous serre vitrée et 1,5 kg/m² sous serre plastique.

En principe on récolte 7 ans de suite, après quoi on arrache la culture. Cette durée courte de la culture est liée surtout à la production précoce (dès la 1er année) et à la densité élevée (minimum 6 plants/m²).

En matière de fraise on fait 3 cultures successives par an dans la même serre. Il s'agit de cultures en sacs étroits remplis avec de la tourbe et disposés sur des tablettes en 4 rangées par chapelle de 5 m.

L'évolution de la production dans la serre est présentée dans tableau suivant :

Date de plantation	Production	Rendement	Variété
5/12	20/3-30/4	3.7 kg/m ²	Primella
10/5	10/17-15/8	1.4 kg/m ²	Elsanta
24/8	20/10-30/11	2.5 kg/m ²	Elsanta

Au total la production est donc de 7.5 à 8 kg/m² par an. Pour combattre les maladies et les parasites dans la serre, l'exploitant utilise des vaporisateurs de soufre de marque Nivola.

Avec la variété Elsanta on peut obtenir trois récoltes par an sur la même plante. La plantation du mois d'août permet de produire en novembre-décembre. Si on conserve la plante dans la serre à froid durant quelques semaines, on peut redémarrer une production en mars-avril et il est possible d'obtenir une 3^{ème} floraison en été.

Les plants de fraisier destinés à la multiplication sont plantés fin mars sur une parcelle d'attente en densité relativement élevée et on les plante sur le champ définitif en juin. Il faut enlever 2 à 3 hampes florales et vers la fin juillet on peut récolter 10 à 15 plantes-filles par plante-mère, mais si on continue on peut obtenir jusqu'à 60 plantes-filles.

2. Sint Kathelijne Waver

Les investissements nécessaires pour installer un hectare de serre vitrée sont de l'ordre de 30 million FB (750000 DT). Pour une culture en hors sol un supplément d'installation de 200 FB/m² (5 DT/m²) est nécessaire. Pour couvrir tous les frais un produit brut de 1200 FB (30 DT) par m² est nécessaire.

Dans cette région la plupart des cultures se font en hors sol. Jusqu'à maintenant on utilise surtout les cultures sur laine de roche et en hydroponique, mais la culture sur laine de roche tend à se faire remplacer depuis 1984 par l'Agrofoam (mousse de polyuréthane). Les avantages de l'Agrofoam se trouvent dans son volume réduit (6 m³ par ha contre 100 m³ pour la laine de roche) et son aptitude à être réutilisé après une désinfection à la vapeur (110°C). La désinfection des pains de laine de roche provoque environ 30% de cassures, donc des matelas non réutilisables. Notons que les matelas en polyuréthane peuvent se réutiliser durant 5-6 ans sans problèmes.

Les pains en laine de roche, dont le prix neuf est de l'ordre de 45 FB, causent également beaucoup de problèmes au niveau de la pollution, car leur entassement est très encombrant et leur recyclage est difficile et cher (la laine de roche ne fond qu'à des températures de plus que 1100° C).

Pour se débarrasser des matelas de laine de roche, les horticulteurs Belges payent 10 FB (0,250 DT) par matelas. Pour diminuer cette quantité de déchets, certains horticulteurs remplacent les pots en laine de roche contenant les plants par des cubes en tourbe, ce qui diminue la quantité de déchets de 18%.

Actuellement on teste aussi d'autres substrats comme le bois, la laine de verre et le perlite. L'avantage du bois à ce niveau se trouve dans la possibilité de le composter où de le brûler après usage. Les pains en bois sont en fait de planches de déchets de bois, plus ou moins épaisses. On expérimente actuellement différentes épaisseurs et différents degrés de compactage.

La culture d'aubergine se comporte très bien sur substrat. Les variétés d'aubergine à fruits blancs semblent plus sensibles au sel que les autres, et pour cette raison on essaie de diminuer la conductivité électrique (EC) de l'eau de drainage de 3.5 à 2.5 mS. Il faut aussi surveiller à éviter une situation de stress hydrique entre les périodes d'irrigation.

A la station on teste aussi plusieurs variétés de tomates. Pour une plantation de 6 janvier, la récolte a débuté le 20 mars et a atteint 24 kg/m² le 14 juillet.

Une technique améliorée des cultures conduites en NFT (nutrient film technique) est essayée en posant des plants élevés en pots de laine de roche sur des matelas minces en PU (polyuréthane) se trouvant dans la gouttière. Ce matelas de PU joue le rôle de poumon (oxygène pour les racines).

On essaie de réduire le niveau de nitrate des cultures sous serre. Pour la laitue cultivée en NFT la teneur en nitrates a été diminuée en remplaçant des nitrates par des chlorures ou des sulfates. Jusqu'à maintenant on n'a pas trouvé des symptômes néfastes en faisant ainsi.

Pour l'exportation des radis vers l'USA on est obligé de cultiver dans de l'eau, parce que toute présence de grains de sable sur les plantes est interdite. Dans cet

optique des essais de culture de radis sur NFT en utilisant des bandes de PU sont en cours. Comme le radis ne germe que dans des conditions d'obscurité, on couvre les gouttières avec du PE noir. Le problème de la formation d'algues dans les gouttières a été résolu dans les essais en injectant à faible dose un produit anti-algues (le nom du produit ne nous a pas été communiqué, car il fait l'objet d'une demande de brevet).

En matière de concombre les horticulteurs font 3 cultures de concombre successives par an : une 1ère culture jusqu'en mai, la 2ème est plantée fin mai et la 3ème fin août. En général en été on récolte 3.5 fruits par plante et par semaine, ce qui correspond à 1.4 kg/m² pour la densité de plantation de 1 pl/m².

3. Les techniques de production en Hollande

Les cultures maraîchères sous serre se situent principalement dans la région du Westhoek avec comme centre Naaldwijk.

3.1. La protection des végétaux

Les développements récents au niveau de la protection des végétaux sont les suivants :

1) Pour éviter les problèmes de *Fusarium oxysporum radicum* certains agriculteurs utilisant de l'eau recyclée stérilisent cette eau à 100° C durant 30 secondes. On essaie également de compartimenter l'irrigation des cultures.

2) Pour lutter contre les mineuses on commence à utiliser une espèce prédatrice du genre *Dachnusa*.

3) Pour la lutte contre la mouche blanche *Trialeurodes vaporariorum* on utilise le prédateur *Encarsia formosa* en combinaison avec Applaud. Il y a également un début de présence de *Bemisia tabaci*, surtout dans le secteur ornemental.

4) Le thrips *Frankiniella occidentalis* reste de plus en plus longtemps présent sur les cultures de tomate et occasionne l'apparition du TSWV (Tomato Spot Wilt Virus). Les espèces *Amblyseius barkeri* et *A. cucumeris* sont utilisables comme prédateur.

5) La lutte contre les Oidioms du genre *Erysiphe* se fait avec les produits suivants : Nimrod, Baycor, Euparen et Funginex (Imazalil).

6) Pour la lutte contre les araignées rouges il existe un produit (Nissuran)

compatible avec l'utilisation du *Phytoseiulus persimilis* en lutte biologique. Le vaporisateur de soufre n'est pas utilisé en culture de tomate.

7) En général il y a moins de problèmes phytosanitaires sous les serres plus hautes, surtout si on utilise sciemment l'aération et la technique du chauffage en aérant (droogstoken).

3.2. La conduite de la tomate

En matière de la conduite culturale de la tomate les tendances suivantes se dégagent :

1) Les maraîchers utilisent surtout les cultures prolongées dans les nouvelles types de serres plus hautes et la technique de l'intercropping avec 2 cultures successives de courte durée sous les serres anciennes plus basses.

2) Pour la culture prolongée de tomate on cultive durant 11 mois et on récolte durant 9 mois et le rendement se situe entre 40 et 50 kg/m² selon les variétés, soit une production de 4.5 à 5.5 kg/m² par mois. La densité utilisée est normalement de 2.1 plants par m², mais il y a une tendance pour planter plus dense actuellement.

3) En utilisant 2 cultures successives de tomate de durée courte on peut réaliser entre 35 et 45 kg/m², mais on a deux fois les frais des plantes et il y a également un pic de travail correspondant à l'arrachage de l'ancienne culture et la plantation de la nouvelle culture. En plus il y a une interruption de minimum 50 jours au niveau de la production. Pour pallier à ceci on utilise l'intercropping et pour éviter l'étiollement des plantes sous ces conditions on utilise des traitements avec des substances freinantes comme le Cycocel (CCC). Une durée d'intercropping de 5 à 6 semaines est ainsi possible et l'interruption de la production est réduite à maximum 14 jours.

4) En matière de la conduite de la tomate on peut opter pour la culture en pergola en utilisant des crochets spéciaux pour permettre à la plante de descendre plus facilement sans casser. Cette technique de conduite avec des têtes descendantes réduit la production de quelques kilos par m². C'est pour cette raison que la plupart des agriculteurs optent pour la conduite de tuteurage en oblique avec des crochets mobiles et en couchant par terre ou sur banquette les tiges avec les bouquets récoltés.

5) La régulation de l'irrigation des cultures de tomate se fait en général en fonction du rayonnement, mais dans certains cas on tient compte également de l'état du substrat et/ou de la quantité d'eau de drainage que l'on veut avoir.

En général on irrigue par portions de 100 cc, ce qui veut dire que l'on peut avoir plus de 10 irrigations par jour. Il est rare d'avoir des irrigations durant la nuit en culture sur substrat, mais on prévoit souvent une irrigation tard le soir et une irrigation tôt le matin. Pour les cultures conduites en NFT il y a une circulation continue de l'eau nuit et jour.

6) L'effeuillage est très important pour la culture de tomate. Si en hiver on conseille de maintenir environ 15 feuilles, pendant l'été on maintient au moins 20 feuilles, car une végétation importante permet d'évaporer plus d'eau et d'abaisser ainsi légèrement la température de la culture.

7) Au niveau des tomates charnues on préconise surtout la variété Dombito ; pour les tomates rondes ce sont les variétés Calypso et Liberto de Ruyter qui se cultivent le plus.

3.3. La conduite du melon

Le melon est cultivé en général sur 1 jet de production avec 3 à 4 fruits par plante. On vise une production très groupée et le 1er fruit se situe pas en dessous de 80 cm.

Les agriculteurs réalisent normalement 2 ou 3 plantations par an. En culture en sol on réalise en général une plantation précoce et une plantation tardive, alors que sur substrat on arrive à 3 plantations par an. La première plantation se fait fin janvier en densité de 2.1 plantes/m². La deuxième plantation se fait en avril avec une densité de 1.6 à 1.8 plantes/m² et la 3ème plantation se fait en juillet avec une densité de 1.4 plantes/m². Pour les cultures en sol on peut utiliser des densités plus élevées, notamment 1.6 plantes/m² en juillet.

Les frères Klapwijk ont une exploitation de 3 ha sous serre vitrée et se sont spécialisé en melon. Ils font jusqu'à 11 plantations par an. La première plantation se fait vers le mi janvier et la dernière vers le début août. Plus tôt et plus tard les cultures réussissent difficilement par manque de lumière.

En cultures sur sol on obtient pour le moment 7 à 8 kg/m² sur 2 cultures, mais dans le futur on vise à obtenir 12 kg/m². En cultures sur substrat on obtient pour le moment 15 fruits par jet sur 2 cultures, notamment 9.5 fruits sur la 1^{ère} culture et 5.5 fruits sur la deuxième culture, correspondant respectivement à 8.5 et 5 kg/m², soit en total 13.5 kg/m². Le poids moyen des fruits est de 900 g en moyenne.

Les variétés classiques en Hollande sont Ogen et Hogen, résistants au Pseudoperonospora, et le prix est en général un peu mieux que pour les types Galia. Il semble néanmoins exister un intérêt croissant pour le type Charentais. Les variétés les plus utilisées parmi les types Charentais sont Pallium, Haros et Hermes.

En matière de qualité on exige un taux de sucre minimal de 8%, et un taux normal est de 10 à 11%. Il semble que le taux de sucres dans le melon est influencé par la durée de croissance du fruit. Si cette croissance est trop rapide, en outre par des températures trop élevées, la teneur en sucres baisse. Une baisse de la température nocturne de 20 à 15° C permet ainsi de diminuer la transformation des sucres en amidons, et ceci semble favorable sur la teneur en sucres.

La salinité semble avoir une faible influence en Hollande sur la teneur en sucres, mais fait diminuer le calibre. Des irrigations trop importantes diminuent la vitesse de maturation.

3.4. La serre et ses équipements

L'évolution de la serre vitrée hollandaise s'oriente de nouveau vers la couverture en vitre simple de 3 à 3.5 mm, car le prix de l'énergie est pour le moment moins cher que quelques années passées (0.25 Hfl/m³ contre 0.40 Hfl/m³ pour le gaz naturel), surtout dans un contexte de chauffage en Total Energy (TE). Les écrans thermiques mobiles modernes permettent également de réaliser une économie d'énergie semblable (40%) à celle obtenue par le double vitrage.

Le coût de la construction avec couverture vitre simple est de 65 Hfl/m² et il faut compter au moins 40 Hfl/m² en plus pour le vitrage double, alors qu'un bon écran mobile ne coûte pas plus que 20 Hfl/m² et est utilisable, si bien comme écran thermique, que pour l'ombrage. En plus il est actuellement admis que la perte de 1% de lumière résulte dans une baisse du rendement avec 1%, et une double vitrage diminue la lumière avec 10% en moyenne.

Afin d'améliorer le confort diurne, les serres sont de plus en plus hautes. Il y a quelques années la norme pour la hauteur du type Venlo était passée de 2 m à 2,7 m sous chéneau, et maintenant on opte plutôt pour 3 à 3,5 m et même jusqu'à 4 m sous chéneau. La hauteur que peut atteindre la serre dépend essentiellement de son ancrage en profondeur, la tendance actuelle est de 1 m pour serres hautes.

Pour réduire l'influence négative de l'ombrage par les pièces portantes (poutres) on utilise des vitres de plus en plus grande dimension et la largeur normale est passée de 0,6 à 1 m. Dans les serres modernes il y a même des largeurs de 1,5 m. Vu le poids de ces morceaux de vitres, la hauteur des serres, la mise en place de ces vitres devient de plus en plus difficile et dangereux, surtout par vent moyen à fort. C'est pour cette raison que l'on a développé une machine à vitrage qui permet de faire remonter et de positionner le vitre à l'endroit voulu.

L'équipement des serres tient beaucoup compte de l'ergonomie et d'une exploitation maximale de la surface couverte. C'est ainsi que les tablettes utilisées pour les plantes en pots sont normalisées et mobiles dans les deux sens et peuvent être emmenées jusqu'à l'unité de préparation pour l'expédition, réduisant donc au strict minimum les manipulations.

Une approche intéressante est faite sous la serre expérimentale avec des plantes de tomate et de piment accrochés sur des rails mobiles, ce qui permet de leur faire passer à tour de rôle devant l'équipe d'ouvriers assurant les travaux d'entretien et de récolte et devant le point d'irrigation ou de traitement. L'objectif final est de réduire l'équipement en tubes pour les réseaux d'irrigation et surtout de diminuer les déplacements de l'homme assurant l'entretien, la récolte ou les traitements.

Dans le même ordre d'idée on pense faire bouger les plantes durant la nuit vers un local autre que la serre et permettant de par sa bonne isolation de réduire considérablement les frais de climatisation.

De ces expériences il est apparu que la technologie actuelle, utilisée pour réaliser ceci, n'est pas tout à fait au point, surtout pour la tomate, car il y a encore trop de dégâts par les secousses et surtout par les frottements contre certaines parties fixes de la serre.

WORKSHOP ON GREENHOUSE CONSTRUCTION AND DESIGN

Le workshop a regroupé du 4 au 7 septembre 1989, quarante neuf participants. Durant ce workshop, 22 communications ont été présentés en 4 sessions différentes. Durant les pauses il y a avait la possibilité de consulter 15 posters sur 4 différents thèmes. Les 4 sessions du workshop se sont déroulées les deux premières journées et ils ont été suivies par des excursions dans la région de Perpignan et la région de Nîmes-Avignon la 3ème et la 4ème journée respectivement.

Notre contribution au niveau de ce workshop a consisté dans la présentation d'une communication orale (Comparison of différent systems for static ventilation of hemispheric plastic greenhouses) et un poster (Comparison of polynomial regression and linear interpolation as methods for temperature distribution studies under greenhouses).

La première session concernait la transmission radiative au niveau de la serre. Durant cette session Mr. Jaffrin a présenté le mécanisme de la transmission lumineuse à travers d'un film mouillé, ainsi que les moyens permettant d'optimiser la transmission lumineuse sous les serres modernes, et ceci dans le contexte que la perte de lumière entraîne des pertes de production. Une diminution de 1% au niveau de la lumière résulte en général dans une diminution de la production avec 1%.

Mr. Baille a présenté ensuite un modèle simplifié pour l'estimation des transmissions lumineuses et surtout énergétiques au niveau d'une serre à partir de quelques paramètres du climat extérieur et de la serre. Ce modèle a été testé et semble donner une bonne approche de la réalité.

Mr. Piccuno a présenté une analyse du climat nocturne sous serre non chauffée et a surtout mise en évidence les changements des différents composantes du climat sous l'influence de l'abaissement de la température, et plus spécifiquement sur l'hygrométrie relative à travers les changements au niveau du degré de saturation maximale de l'air et l'évaporation de la plante.

Mr. Feuilloley a présenté la méthodologie et les résultats de la détermination des coefficients de déperditions thermiques à travers les différents films. Les performances des films polyester et des films fluorés (PVF, PVDF, FEDP) sont remarquables à ce niveau, mais la faible résistance à la déchirure du premier et les prix élevés des films fluorés sont des obstacles pour leur utilisation. En plus leur production en largeur réduite, nécessitent des soudures techniques pour la production de films de plus que 2 m de large.

Durant la 2^{ème} session Mr. Reisinger a présenté un film plastique alvéolé avec un système de fixation rapide permettant de fixer ou d'enlever rapidement le film. Ce film alvéolé permet en utilisation nocturne des économies d'énergie très importantes.

Mr. Von Zabeltitz a présenté des résultats avec des nouvelles constructions de serre plastiques, en outre les résultats sur une serre avec 3 et 5 films de couverture en Teflon et une serre en double paroi avec mise en tension du film de couverture par une gaine gonflable dans le faîtage. Les résultats techniques de transmission lumineuse, de déperditions thermiques et de résistance de la construction ont été présentés.

Mr. Mills et Mr. Rault ont présenté respectivement un modèle de serre adaptée aux conditions de climat subtropical frais et tropical humide. Dans le deuxième cas beaucoup d'importance est donnée à l'effet parapluie de la serre et on peut laisser même complètement ouvert les parois latérales.

Mr. Bailey a dressé une approche générale de tous les facteurs qui interviennent dans la mise au point d'un modèle de serre vitrée adaptée aux conditions régionales spécifiques.

La troisième section a été consacrée surtout à la normalisation et la standardisation des structures de serre. Durant cette section Mr. Segal a présenté l'évolution du secteur de serriculture en Israel où moins que 10% de la surface est couverte avec d'autres films que le PE et où on a environ 10% des surfaces couvertes chauffées.

Mr. Feuilleley a présenté la méthodologie et les résultats de la détermination des coefficients de déperditions thermiques à travers les différents films. Les performances des films polyester et des films fluorés (PVF, PVDF, FEDP) sont remarquables à ce niveau, mais la faible résistance à la déchirure du premier et les prix élevés des films fluorés sont des obstacles pour leur utilisation. En plus leur production en largeur réduite, nécessitent des soudres techniques pour la production de films de plus que 2 m de large.

Durant la 2ème session Mr. Reisinger a présenté un film plastique alvéolé avec un système de fixation rapide permettant de fixer ou d'enlever rapidement le film. Ce film alvéolé permet en utilisation nocturne des économies d'énergie très importantes.

Mr. Von Zabeltitz a présenté des résultats avec des nouvelles constructions de serre plastiques, en outre les résultats sur une serre avec 3 et 5 films de couverture en Teflon et une serre en double paroi avec mise en tension du film de couverture par une gaine gonflable dans le faitage. Les résultats techniques de transmission lumineuse, de déperditions thermiques et de résistance de la construction ont été présentés.

Mr. Mills et Mr. Rault ont présenté respectivement un modèle de serre adaptée aux conditions de climat subtropical frais et tropical humide. Dans le deuxième cas beaucoup d'importance est donnée à l'effet parapluie de la serre et on peut laisser même complètement ouvert les parois latérales.

Mr. Bailey a dressé une approche générale de tous les facteurs qui interviennent dans la mise au point d'un modèle de serre vitrée adaptée aux conditions régionales spécifiques.

La troisième section a été consacrée surtout à la normalisation et la standardisation des structures de serre. Durant cette section Mr. Segal a présenté l'évolution du secteur de serriculture en Israel où moins que 10% de la surface est couverte avec d'autres films que le PE et où on a environ 10% des surfaces couvertes chauffées.

Les serres Israéliennes sont calculées pour une vitesse de vent de 100 km/h et pour une charge totale de 50 kg/m², ce qui semble trop faible par rapport aux normes des certains autres pays. Les dégâts sur les serres sont occasionnés par de la grêle, par les gelées et surtout par les vents. Les calculs actuels ne tiennent que compte de pressions, mais il semble que la plupart des dégâts au niveau de la structure sont occasionnés par des succions. Les dégâts au niveau des films dépendent surtout du système de fixation et de la finition de cette fixation.

Pour détecter mieux les remèdes les différents modèles sont testés actuellement à échelle réduite sous tunnel à soufflerie transniquie et on fait une recherche systématique par enquête-analyse au niveau des dégâts.

Mr. Meneses a présenté une approche simple des standards utilisés pour le calcul du dimensionnement des serres traditionnelles en bois au Portugal. Mr. Waayenbergh a présenté une approche de normalisation pour des serres plastiques en se basant sur les modèles disponibles aux Pays-Bas.

Une des conclusions importantes est que, indépendamment du nombre de parties avec lequel est confectionné l'arceau, la jonction uniquement à moyen de croix est à éviter et il faut mieux unir les arceaux avec les entretoises avec des vis ou des boulons. L'ossature doit donc être fixée et elle doit se maintenir en toutes conditions, même sans couverture avec le film. Le film plastique doit être supporté par les arceaux et non par les entretoises. La distance entre les arceaux doit être inférieure à 2.5 m et de préférence ne pas dépasser 2 m.

Pour faciliter l'ancrage de la serre et éviter son arrachement par des succions, l'utilisation de petites fondations de maximum 50 cm de profondeur est à conseiller à condition que le tube tient dans la fondation par une traverse. L'utilisation d'ancres en forme d'hélices introduites à environ 70 cm de profondeur tous les deux arceaux est un autre moyen de fixation de la serre.

La norme proposée doit tenir compte des succions et des pressions exercées par le vent selon la longévité souhaitée. En général on compte une longévité de 15 ans pour l'ossature et une longévité de 3 ans pour le film et on doit tenir compte dans ce cas de la vitesse maximale du vent avec un seuil de sécurité pour la région

Les serres Israéliennes sont calculées pour une vitesse de vent de 100 km/h et pour une charge totale de 50 kg/m², ce qui semble trop faible par rapport aux normes des certains autres pays. Les dégâts sur les serres sont occasionnées par de la grêle, par les gelées et surtout par les vents. Les calculs actuels ne tiennent que compte de pressions, mais il semble que la plupart des dégâts au niveau de la structure sont occasionnés par des succions. Les dégâts au niveau des films dépendent surtout du système de fixation et de la finition de cette fixation.

Pour détecter mieux les remèdes les différents modèles sont testés actuellement à échelle réduite sous tunnel à soufflerie transniquie et on fait une recherche systématique par enquête-analyse au niveau des dégâts.

Mr. Meneses a présenté une approche simple des standards utilisés pour le calcul du dimensionnement des serres traditionnelles en bois au Portugal. Mr. Waayenbergh a présenté une approche de normalisation pour des serres plastiques en se basant sur les modèles disponibles aux Pays-Bas.

Une des conclusions importantes est que, indépendamment du nombre de parties avec lequel est confectionné l'arceau, la jonction uniquement à moyen de croix est à éviter et il faut mieux unir les arceaux avec les entretoises avec des vis ou des boulons. L'ossature doit donc être fixée et elle doit se maintenir en toutes conditions, même sans couverture avec le film. Le film plastique doit être supporté par les arceaux et non par les entretoises. La distance entre les arceaux doit être inférieure à 2.5 m et de préférence ne pas dépasser 2 m.

Pour faciliter l'ancrage de la serre et éviter son arrachement par des succions, l'utilisation de petites fondations de maximum 50 cm de profondeur est à conseiller à condition que le tube tient dans la fondation par une traverse. L'utilisation d'ancres en forme d'hélices introduites à environ 70 cm de profondeur tous les deux arceaux est un autre moyen de fixation de la serre.

La norme proposée doit tenir compte des succions et des pressions exercées par le vent selon la longévité souhaité. En général on compte une longévité de 15 ans pour l'ossature et une longévité de 3 ans pour le film et on doit tenir compte dans ce cas de la vitesse maximale du vent avec un seuil de sécurité pour la région

de à l'échelle d'une période de 15 ans et 3 ans respectivement .

En Hollande, les normes proposées pour le calcul de l'ossature sont de 15 kg/m² pour la charge culturale, de 43 kg/m², pour la charge de pression et de succion, de 25 kg/m² pour la charge de neige. Pour éviter le fléchissement des arceaux il est important de jouer sur leur diamètre extérieur et leur épaisseur.

Pour une serre de 8 m de large qui doit obéir aux normes définies ci-dessus, il faut des arceaux de diamètre 48 x 2 mm avec des distance entre les arceaux de 1.6 m et un ancrage tous les 2 arceaux. Si on veut des distances de 2 m il faudrait des arceaux de 48 x 2/5 mm de diamètre.

Mr. Gratraud a présenté l'évolution des normes françaises après la catastrophe de 1983 (destruction des serres plastique et vitrée par la charge de neige). Ces normes divisent la France en plusieurs régions selon les vitesses du vent et les hauteurs d'enneigement possible et tiennent compte des différents types de serres (serre vitrée, multispans plastique et tunnel plastique). Il apparaît que dans ces calculations structurales il faut tenir également compte de la relation entre la serre et l'extérieur, notamment au niveau de l'air et du sol. Au niveau du sol (fondation) le problème est relativement compliquée en France car il y des sols très variées, alors qu'au Pays Bas il y a beaucoup plus d'homogénéité (sols légers sablonneux).

Mr. Vassilleu a annoncé que le financement des serres en Grèce ne se fait que si la structure est calculée selon les standards. Dans le dimensionnement on tient compte de la densité de l'air, de la surface au sol et de la surface de la couverture, de la longévité attendu et de la vitesse moyenne du vent. Avant on utilisait différents normes en Grèce, notamment les normes Italiennes, Hollandaises, Allemandes, Américaines, mais actuellement on utilise des normes Grecques spécifiques et on utilise par exemple une charge de vent plus importantes que dans la plupart des autres pays Européens. En matière de longévité de la structure on vise 25 ans comme aux Etats Unis.

Mr. Castilla a évoqué l'insuffisance de l'aération latérale sur les grandes unités des serres du types Parral en Espagne dès que l'on dépasse les 20 m, car il a absence de ventilation au faitage. Pour des largeurs se situant entre 20 et 30 m il a

de à l'échelle d'une période de 15 ans et 3 ans respectivement .

En Hollande, les normes proposées pour le calcul de l'ossature sont de 15 kg/m² pour la charge culturale, de 43 kg/m², pour la charge de pression et de succion, de 25 kg/m² pour la charge de neige. Pour éviter le fléchissement des arceaux il est important de jouer sur leur diamètre extérieur et leur épaisseur.

Pour une serre de 8 m de large qui doit obéir aux normes définies ci-dessus, il faut des arceaux de diamètre 48 x 2 mm avec des distance entre les arceaux de 1.6 m et un ancrage tous les 2 arceaux. Si on veut des distances de 2 m il faudrait des arceaux de 48 x 2/5 mm de diamètre.

Mr. Gratraud a présenté l'évolution des normes françaises après la catastrophe de 1983 (destruction des serres plastique et vitrée par la charge de neige). Ces normes divisent la France en plusieurs régions selon les vitesses du vent et les hauteurs d'enneigement possible et tiennent compte des différents types de serres (serre vitrée, multispan plastique et tunnel plastique). Il apparaît que dans ces calculations structurales il faut tenir également compte de la relation entre la serre et l'extérieur, notamment au niveau de l'air et du sol. Au niveau du sol (fondation) le problème est relativement compliquée en France car il y des sols très variées, alors qu'au Pays Bas il y a beaucoup plus d'homogénéité (sols légers sablonneux).

Mr. Vassillou a annoncé que le financement des serres en Grèce ne se fait que si la structure est calculée selon les standards. Dans le dimensionnement on tient compte de la densité de l'air, de la surface au sol et de la surface de la couverture, de la longévité attendu et de la vitesse moyenne du vent. Avant on utilisait différents normes en Grèce, notamment les normes Italiennes, Hollandaises, Allemandes, Américaines, mais actuellement on utilise des normes Grécques spécifiques et on utilise par exemple une charge de vent plus importantes que dans la plupart des autres pays Européens. En matière de longévité de la structure on vise 25 ans comme aux Etats Unis.

Mr. Castilla a évoqué l'insuffisance de l'aération latérale sur les grandes unités des serres du types Parral en Espagne dès que l'on dépasse les 20 m, car il a absence de ventilation au faitage. Pour des largeurs se situant entre 20 et 30 m il a

comparé une serre type Parral plus haut, avec une serre multispan et une serre Parral avec aération dans le faitage en enroulement du film de couverture entre les deux grillages. Les résultats ont montré des meilleures précocités et des meilleurs rendements totaux dans la multichapelle et dans le type Parral avec aération au faitage.

Mr. D'Amore a présenté différents moyens pour améliorer le climat nocturne sous serre en hiver dans la région de Naples. Le type de tunnel (relation volume-surface) est très important. Pour des relations V/S de 0.5 à 1 il y a des amplitudes très importants. Pour des relations de 2 à 2.5 nous avons en principe les serres plastiques classiques. Par contre des relations de 3 à 5 donnent des amplitudes très faibles, d'où l'intérêt de construire des serres hautes. Les meilleurs films sont le PVF et le film EVA anti-buée.

Le système d'amélioration du climat le plus utilisé est le chauffage des parois, soit par pulvérisation de l'eau tiède sur la paroi extérieure, soit par la pulvérisation de l'eau sur la surface supérieure du film intérieur d'une double paroi avec une séparation de 50 cm entre les deux films. Dans le premier cas on utilise 60 l/h par m² de surface. Dans le deuxième cas on utilise 120 l/h par m². La pulvérisation se fait par des microjets. L'eau utilisée a une température de 16° C et ne cause pas d'opacification rapide du film. Dans les 2 cas l'eau est récupérée sur des gouttières.

Dans la 4ème session l'amélioration du climat diurne par la ventilation statique a été présentée. Notre communication a été présentée durant cette session.

Mr. Arbel a présenté le bon taux de renouvellement qui peut être obtenue en ventilation naturelle si le taux d'ouverture est très important (25% minimum). Dans ces conditions on peut se rapprocher de la température extérieure. Les expériences étaient menées sur des multichapelles avec une hauteur sous chéneau de 2 m et avec des systèmes de fixation spéciales.

Mr. Feuilloley a présenté une comparaison sous serre non cultivée de l'aération classique (3% d'ouverture), de l'aération au faitage (29%) par des parois glissantes et de la combinaison de de l'aération au faitage et latéral (39% d'ouverture) par parois glissantes. L'intérêt d'un taux d'ouverture élevé est très

évident.

Mr. Montero a présenté une expérience où on utilise des brumiseurs en combinaison avec l'ombrage pour améliorer le climat sous serre. Le brumisateur est du type pression et il est conçu pour vaporiser de l'eau arrivant à une pression, de 3 à 3,5 bar par un mélange avec de l'air comprimé arrivant à 4 à 6 bar. Pour faciliter le fonctionnement on pose 4 brumiseurs ensemble en les orientant chacun sur un secteur de la surface à travailler. En principe on utilise un brumisateur par 9 m² et il vaporise environ 2 l d'eau par heure en gouttelettes de 20, presque insensible et invisible. Ceci présente donc environ 1080 kcal par 9 m² soit 120 kcal/h. m².

Les résultats indiquent qu'avec un taux de renouvellement de 10 on maintient une température supérieure de 3 à 4° C par rapport à l'extérieur. Au vue de ces résultats on peut se demander si le débit est réellement de 2 litres par heure ou si le taux de renouvellement est trop faible et ne permet pas d'exploiter efficacement la vaporisation de l'eau.

Mr. Assaf a présenté une approche sur l'évaporation nocturne d'une culture de roses sous serre et de son influence sur le climat.

La quantité d'eau transpirée est liée à un gradient climatique entre l'air et la feuille, mais en général on a une transpiration à 2 à 3 g/m² par heure. En utilisant un système de déshumidification absorbant 8 g/m² par heure on constate que l'hygrométrie relative ne baisse que de quelques % (de 94 à 89), ce qui démontre qu'il y a un important changement dans l'activité transpiratoire. Ce changement se produit en quelques minutes.

Dans les serres chauffées avec des aérothermes il y a également beaucoup d'évaporation, ce qui refroidit l'atmosphère, d'où la nécessité de chauffer davantage que sous serre équipée avec des écrans thermiques sans chauffage par aérotherme.

De la discussion globale des 4 sessions et de la session de posters, nous pouvons retenir les points suivants :

- l'intérêt de construire de serres plus hautes avec éventuellement un écran mobile pour diminuer les frais de chauffage

- la recherche pour diminuer l'effet d'ombrage par les pièces protantes de la construction. C'est pour cette raison qu'en Hollande on utilise des vitres de 1.6 sur 1 m, ce qui nécessite un mécanisme élévateur intelligent pour la pose de ces vitres. La réparation se fait par des supports intercalaires et des vitres de 0.8 sur 1 m.
- La tendance pour utiliser des serres plus larges (multispan) couvert avec des films plus résistants et à meilleure longévité. La fixation de ces films doit se faire avec des artifices de fixation rapides, simples et sûres.
- une adaptation des profils des serres plastiques est possible afin d'augmenter leur résistance, notamment des tubes ovales pour les arceaux et des tubes carrés pour les entretoises. Ceci correspond à une augmentation de 10% de métal, mais n'entraîne qu'une augmentation du coût de 2%.
- la norme pour la charge de neige est de 25 kg/m² à condition que l'on maintient une température de 15° C à l'intérieur. Pour les constructions qui ne sont pas chauffées on prend comme norme 75 kg/m² en Allemagne, tout comme pour les autres constructions.
- la fabrication des serres larges en utilisant des poutres auto-portantes est possible avec le bois. Pour une poutre avec une portée de 20 m chaque 8 m le coût serait de 100 FF/m², soit 15 DT/m².
- pour les serres plastiques on peut en général utiliser une réduction de 20% sur les standards utilisées pour les serres vitrées.
- pour le futur on s'oriente sur des structures de plus grande dimension en surface (par exemple la société Dalsem monte une serre de 8 ha d'un seul tenant en hollande).
- pour la serre de demain les investissements par unité de surface devront être augmentés pour assurer une meilleure tenue, mais par contre les coûts d'installation, d'assemblage et de changement de couverture devraient se réduire, alors que les investissements au niveau des équipements et des automatismes devraient se réduire également par l'augmentation des surfaces par unité.

A la fin de ce Workshop il a été suggéré d'utiliser une méthode commune pour le calcul des structures. Les paramètres pourraient être différents selon les régions en tenant compte des conditions climatiques locales. La conception de cette méthode pourraient être mise au point dans un groupe de travail en utilisant les méthodologies existantes.

Il a été suggéré également de développer plusieurs modèles, notamment un modèle pour les régions tempérées et un modèle pour les régions méditerranéennes et désertiques.

En marge de ce Workshop nous avons eu des séances de travail avec Mr. Waayenbergh de l'IMAG sur le calcul des différentes parties d'une serre conçue par nous pour les besoins du Projet de Chauffage des Serres par la Géothermie.

Afin d'éviter des calculs longs Mr. Waayenbergh a proposé de faire exécuter le calcul des différentes pièces de la serre, en tenant compte des conditions spécifiques de la Tunisie, par le logiciel de l'IMAG. En vue de ce calcul on pourrait définir si les différentes pièces existent en Tunisie et en fonction du matériel présent on pourrait recalculer un prototype à essayer.

Le modèle demandé est conçue en multichapelle avec une largeur de 20.5 m et une hauteur sous chéneau de 2.5 m, avec une aération latérale par enrroulement des laizes sur 2 m et un écartement des laizes dans le faitage.

Visites dans le cadre du Symposium international de Montpellier :

Station CTIFL de Balandran :

Différents modèles de serres existent sur le marché en France et de chaque gamme il y a un ou plusieurs modèles présent à la Station, notamment :

- serre tunnel 7 m (30 FF /m² soit 4.5 DT/m²)
- serre tunnel 8 m (35 FF/ m² soit 5.25 DT/m²)
- serre tunnel 8 m gaut avec aération statique amélioré avec ouvrants dans le toit (60 FF/m² ou 9 DT/m²)
- serre multichapelle avec pignon en dur et aération statique (80 FF/m² ou 12 DT/m²)
- serre multichapelle avec double paroi gonflable en pignon en paroi rigide et aération statique (140 FF/m² ou 21 DT/m²)
- la serre vitrée (200 FF/m² ou 30 DT/m²)

En matière d'économie d'énergie les doubles parois gonflés réduisent la consommation énergétique avec 20%. Par contre l'utilisation d'un écran aluminisé permet de réduire la consommation énergétique de 30% et il est également possible

de l'utiliser pour l'ombrage. Actuellement l'ombrage est utilisé dès que l'on dépasse 700 W/m^2 et ceci dans le but d'améliorer la qualité des fruits (diminuer le ramollissement et l'éclatement). Les serres vitrées avec doublage des parois latéraux ont un très faible coefficient de renouvellement, (0.3 à 0.5).

Les cultures de tomate plantées en novembre produisent bien jusqu'à fin juillet, mais après il y a des difficultés engendrées par des problèmes au niveau de la nouaison qui semble chûter fortement dès la mi-juin en restant à un niveau faible (25-30%) jusqu'à la fin d'août. L'utilisation de l'écran et du fogger ne semble pas avoir eu de résultat favorable, probablement par son effet négatif étioyant (bouquets réduits et fleurs de qualité faible).

La combinaison fogger + écran ne donne qu'un abaissement de la température de 2° C par rapport à une bonne aération statique dans le toit (25%), alors que le cooling permet d'atteindre des températures plus faibles de 6 à 7° C . En matière d'humidité l'augmentation de l'hygrométrie est très faible en utilisant seulement le fogger et il faut avoir les écrans fermés pour atteindre des valeurs de 80%.

En culture de tomate prolongée la variété Capello a produite jusqu'au 1 septembre 36 kg/m^2 alors que Colombo et Caruso ont des rendements de 30 et 25 kg/m^2 . La variété Capello donne aussi plus que 70% de sa production en calibre 77-82 ou supérieur à 82, alors que pour Caruso il n'y a que 45%.

En matière de qualité il est apparent que la relation K^+ / Ca^{++} a moins d'importance que la salinité totale. Par contre en période hivernale il y a facilement de l'exès en Ca^{++} (goldspeck) alors qu'en été il y a plutôt des problèmes de carences en Ca^{++} au niveau des fruits. En hiver on peut y remédier en diminuant les apports de Ca^{++} ou en augmentant les apports de k^+ si l'eau est riche en Ca^{++} . Au printemps et en été il y a intérêt à diminuer l'apport du k^+ , sinon et au cas où l'on craint des fruits moux d'apporter du Ca^{++} par pulvérisation foliaire. Le problème de vitrification du melon est sensiblement diminué par des concentrations élevées en Ca^{++} et par des balances Ca^{++}/K^+ élevée.

Une unité spéciale de 12 cellules de 64 M2 est utilisée pour l'études des problèmes de défense de cultures. Il s'agit d'enceintes complètement climatisées et couvert avec des tissus insect proof au niveau des bouches d'aération. En matière de lutte contre les mouches blanches on préconise également des traitements à l'Applaud à l'extérieur de la serre.

ASPECTS PRATIQUES DE LA PHYSIOLOGIE DE LA FLORAISON ET DE LA MISE A FRUIT CHEZ LA TOMATE ET LE MELON

1- Introduction

La production de fruit de qualité sous serre en période hivernale exige une bonne fructification. Celle-ci se trouve sous la dépendance de plusieurs facteurs, plus spécialement morphologiques et physiologiques. Ainsi la qualité de la fleur avec tous ses organes et les processus amenant la fleur femelle (et dans certain cas bisexuée) à devenir fruit sont sous le contrôle de facteurs hormonaux, nutritionnels et climatiques.

Nous allons passer en revue les différents processus de la mise à fruit ainsi que les conditions qui peuvent compromettre cette fructification.

2. Biologie florale de la tomate et du melon

2.1. Tomate

Les fleurs de la tomate se trouvent réunies en une inflorescence (bouquet). Le nombre de fleurs par inflorescence est variable mais en condition normale, il varie entre 7 et 12 suivant la variété. La fleur terminale est normalement la plus grande. La fleur de la tomate est bisexuée et hexamère (6 pétales, 6 sépales et 6 étamines réunies, formant un cône autour du pistil, et un gynécée à 2 carpelles). Le style est en général plus court que les étamines, ou peut avoir la même longueur que celles-ci, ce qui favorise l'autopollinisation.

Le phénomène le plus important du point de vue morphogénétique et physiologique est l'acquisition de l'état de maturité de la floraison, c'est à dire l'apparition et le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif à l'état reproducteur. La température et la luminosité ont une influence sur la hauteur à laquelle se forme la première inflorescence, ainsi que sur le nombre et la qualité des fleurs par bouquet.

2.2. Melon

On connaît 3 types de fleurs chez le melon : les fleurs mâles, les fleurs

femelles et les fleurs bisexuées ou hermaphrodites, ce qui permet d'obtenir quatre types variétaux à savoir :

- Les variétés monoïques : la plante porte des fleurs mâles et des fleurs femelles (Fakhous)
- Les variétés andromonoïques : la plante porte des fleurs mâles et des fleurs bisexuées (les variétés cantaloups).
- Les variétés gynoiques : la plante porte uniquement des fleurs femelles.
- Les variétés hermaphrodites : la plante ne porte que des fleurs bisexuées.

Les fleurs mâles se trouvent normalement en groupe à chaque nœud sauf à ceux où apparaissent les fleurs femelles. Ces dernières sont solitaires et apparaissent surtout à partir du nœud des rameaux fructifères. Les fleurs mâles sont en nombre plus important que les fleurs femelles ou bisexuées. Les fleurs mâles ont 3 étamines alors que les fleurs femelles et hermaphrodites sont à ovaire infère comprenant 3 à 5 carpelles. La plante se féminise en vieillissant ainsi qu'en présence de température basses et en jour court. En période chaude la fleur ne reste ouverte qu'un seul jour, en hiver elle peut rester ouverte deux jours. Elle attire les insectes pollinisateurs par son pollen et surtout par son nectar.

3. Processus de fructification

Dans le processus de fructification plusieurs phénomènes ont lieu consécutivement et peuvent se résumer en condition optimale de culture comme indiqué dans le tableau suivant :

s : sol a : air

Phénomènes physiologiques	durée en jours condit optima		
	tomate	melon	tomate melon s a s a
La fleur commence à s'épanouir			18 - 15 a a 20 20
Le style s'allonge et le stigmate devient réceptif	4 - 6	1	
Les sacs polliniques s'ouvrent et libèrent le pollen	1 - 2		

femelles et les fleurs bisexuées ou hermaphrodites, ce qui permet d'obtenir quatre types variétaux à savoir :

- Les variétés monoïques : la plante porte des fleurs mâles et des fleurs femelles (Fakhous)
- Les variétés andromonoïques : la plante porte des fleurs mâles et des fleurs bisexuées (les variétés cantaloups).
- Les variétés gynoiques : la plante porte uniquement des fleurs femelles.
- Les variétés hermaphrodites : la plante ne porte que des fleurs bisexuées.

Les fleurs mâles se trouvent normalement en groupe à chaque nœud sauf à ceux où apparaissent les fleurs femelles. Ces dernières sont solitaires et apparaissent surtout à partir du nœud des rameaux fructifères. Les fleurs mâles sont en nombre plus important que les fleurs femelles ou bisexuées. Les fleurs mâles ont 3 étamines alors que les fleurs femelles et hermaphrodites sont à ovaire infère comprenant 3 à 5 carpelles. La plante se féminise en vieillissant ainsi qu'en présence de température basses et en jour court. En période chaude la fleur ne reste ouverte qu'un seul jour, en hiver elle peut rester ouverte deux jours. Elle attire les insectes pollinisateurs par son pollen et surtout par son nectar.

3. Processus de fructification

Dans le processus de fructification plusieurs phénomènes ont lieu consécutivement et peuvent se résumer en condition optimale de culture comme indiqué dans le tableau suivant :

s : sol a : air

Phénomènes physiologiques	durée en jours condit optima		
	tomate	melon	tomate melon s a s a
La fleur commence à s'épanouir			18 - 15 a a 20 20
Le style s'allonge et le stigmate devient réceptif	4 - 6	1	
Les sacs polliniques s'ouvrent et libèrent le pollen	1 - 2		

Le stigmate se couvre de pollen		20 - 18 20
		a 25
Le grain de pollen collé sur le stigmate germe et donne un tube pollinique qui en cheminant a travers le style va atteindre les ovules pour en assurer la fécondation.	2-3	16 20 20
Debut de grossissement de l'ovaire (nouaison)	3-5	18 - 20
		a a
		20 - 25

Ainsi le fruit provient du développement de la fleur après pollinisation et fécondation ; chez les deux espèces (tomaie et melon) il s'agit d'un vrai fruit issu du développement de l'ovaire. La nouaison est ainsi définie au sens strict, par un élargissement perceptible de l'ovaire. Depuis une trentaine d'année, de nombreux auteurs ont tenté d'expliquer les nouaisons et la croissance du fruit. Dès 1936, les recherches s'orientent vers l'étude de phytohormones, l'auxine en particulier, en liaison avec la croissance des fruits.

Avant pollinisation, l'ovaire grossit sous l'action des auxines endogènes de la plante mère ou de la fleur ; après la pollinisation, les auxines du pollen pénètrent dans l'ovaire ainsi que les enzymes libérant les formes liées des auxines de l'ovaire, et enfin les ovules se développant après la fécondation (graines) sont des générateurs d'auxines indispensables à la croissance de la plupart des fruits.

En fait, le problème de la physiologie du développement des fruits est moins simple que le présentaient les auteurs voici une vingtaine d'années. Actuellement, il est certain que toutes les substances de croissance interviennent dans la nouaison (auxines, gibérellines, cytokinines, inhibiteurs) et l'importance des graines est confirmée. Mais ni le lieu de synthèse des hormones, ni leur rôle exact ne sont connues avec précision. Elles joueraient en outre un rôle dans l'attraction des éléments nutritifs au profit des fruits.

4. Action de différents facteurs sur la floraison et la mise à fruit chez le melon et la tomate

4.1. Melon

4.1.1. Longueur du jour

Le melon est une plante qui préfère se développer sous régime de journée allongée. Dans ces conditions la plante peut aller jusqu'à 3 jets de productions. Par contre en condition de journée décroissante il est plus difficile de réaliser plus qu'un jet de production et la vigueur de la variété est très importante à ce niveau. Seulement les variétés moyennement à très vigoureuses sont capables de fournir un 2^{ème} jet de production en journée décroissante.

4.1.2. Température

Les températures ont un effet plus marqué sur la floraison que la photopériode. Des températures basses (12° C à 15° C) augmentent le rapport fleurs femelles / fleurs mâles et font apparaître des fleurs femelles à un niveau bas sur la plante que les températures élevées (19° C à 20° C). Le melon est une espèce exigeante en chaleur et la croissance est plus rapide à des températures 18° C - 20° C ce qui permet d'atteindre plus vite l'épanouissement des fleurs mâles et des fleurs femelles, ce qui conduit à une récolte plus précoce.

L'effet variétal est aussi important puisque certaines variétés répondent différemment vis-à-vis des températures. Les variétés peu vigoureuses (Alpha et Doublon) valorisent mieux le chauffage contrairement aux variétés moyennement vigoureuses (Pancho) et aux variétés vigoureuses (Gamma et Rasto) pouvant fournir un rendement convenable et un bon calibre à des températures nocturnes minimales de l'ordre de 15° C.

Les fleurs non fécondées chutent après quelques jours, mais il peut se produire également une coulure du jeune fruit plus tard qui est souvent dû à une déficience au niveau de la fertilisation. Ce phénomène est à l'origine de la production en jets.

Afin d'obtenir une bonne fructification sur des variétés vigoureuses il faut freiner la croissance végétative. La nouaison est meilleure sur les variétés les moins

4. Action de différents facteurs sur la floraison et la mise à fruit chez le melon et la tomate

4.1. Melon

4.1.1. Longueur du jour

Le melon est une plante qui préfère se développer sous régime de journée allongée. Dans ces conditions la plante peut aller jusqu'à 3 jets de productions. Par contre en condition de journée décroissante il est plus difficile de réaliser plus qu'un jet de production et la vigueur de la variété est très importante à ce niveau. Seulement les variétés moyennement à très vigoureuses sont capables de fournir un 2ème jet de production en journée décroissante.

4.1.2. Température

Les températures ont un effet plus marqué sur la floraison que la photopériode. Des températures basses (12° C à 15° C) augmentent le rapport fleurs femelles / fleurs mâles et font apparaître des fleurs femelles à un niveau bas sur la plante que les températures élevées (19° C à 20° C). Le melon est une espèce exigeante en chaleur et la croissance est plus rapide à des températures 18° C - 20° C ce qui permet d'atteindre plus vite l'épanouissement des fleurs mâles et des fleurs femelles, ce qui conduit à une récolte plus précoce.

L'effet variétal est aussi important puisque certaines variétés répondent différemment vis-à-vis des températures. Les variétés peu vigoureuses (Alpha et Doubion) valorisent mieux le chauffage contrairement aux variétés moyennement vigoureuses (Pancha) et aux variétés vigoureuses (Gamma et Rasto) pouvant fournir un rendement convenable et un bon calibre à des températures nocturnes minimales de l'ordre de 15° C.

Les fleurs non fécondées chutent après quelques jours, mais il peut se produire également une coulure du jeune fruit plus tard qui est souvent dû à une déficience au niveau de la fertilisation. Ce phénomène est à l'origine de la production en jets.

Afin d'obtenir une bonne fructification sur des variétés vigoureuses il faut freiner la croissance végétative. La nouaison est meilleure sur les variétés les moins

vigoureuses. La réduction de la compétition végétative par pincement des rameaux fructifères pendant la période de pollinisation et l'élimination des fruits précocement formés sur la plante peuvent augmenter la capacité de réussite de la nouaison de la plante, mais en retardant un peu la production.

Les températures trop élevées (supérieur à 38° C) ont un effet négatif sur la nouaison. Les températures trop basses peuvent provoquer le groupement des fleurs femelles par 3 (ce qui est l'intermédiaire entre sa position solitaire et la position groupée des fleurs mâles). La qualité de ces fleurs est en général faible et ne favorise pas l'obtention de bons fruits.

4.1.3. Nutrition minérale

Au niveau de la floraison, l'azote intervient sur la production des fleurs mâles et femelles. Des niveaux azotés moyens à élevés accroissent le nombre de fleurs des deux types, mais favorisent surtout les fleurs femelles. Une carence en cet élément peut entraîner une réduction de nombre de fleurs de 35% par rapport aux plantes bien alimentées. L'induction des fleurs mâles, comme celles des fleurs parfaits, devient particulièrement précaire dans le cas d'une déficience en phosphore en présence d'un fort niveau azoté. Le potentiel floral peut décroître jusqu'à 30% des valeurs optimales.

Une alimentation limitée en potassium, en présence d'une quantité suffisante de magnésium diminue légèrement le nombre de fleurs femelles. Alors qu'un niveau très bas en magnésium ne semble pas compromettre l'induction des deux types de fleurs.

Par ailleurs au niveau de la nouaison l'azote et le magnésium, lorsqu'ils sont à un niveau très bas diminuent considérablement la nouaison. D'autre part, dans le cas d'une quantité trop élevée d'azote un déficit en phosphore présente les conditions les plus défavorables à la nouaison et au grossissement.

C'est le manque de magnésium et de phosphore qui donne les indices de production les plus bas, suivis de très près par l'azote. La nutrition minérale joue, en outre, un rôle essentiel dans la qualité du melon à la récolte.

vigoureuses. La réduction de la compétition végétative par pincement des rameaux fructifères pendant la période de pollinisation et l'élimination des fruits précocement formés sur la plante peuvent augmenter la capacité de réussite de la nouaison de la plante, mais en retardant un peu la production.

Les températures trop élevées (supérieur à 38° C) ont un effet négatif sur la nouaison. Les températures trop basses peuvent provoquer le groupement des fleurs femelles par 3 (ce qui est l'intermédiaire entre sa position solitaire et la position groupée des fleurs mâles). La qualité de ces fleurs est en général faible et ne favorise pas l'obtention de bons fruits.

4.1.3. Nutrition minérale

Au niveau de la floraison, l'azote intervient sur la production des fleurs mâles et femelles. Des niveaux azotés moyens à élevés accroissent le nombre de fleurs des deux types, mais favorisent surtout les fleurs femelles. Une carence en cet élément peut entraîner une réduction de nombre de fleurs de 35% par rapport aux plantes bien alimentées. L'induction des fleurs mâles, comme celles des fleurs parfaits, devient particulièrement précaire dans le cas d'une déficience en phosphore en présence d'un fort niveau azoté. Le potentiel floral peut décroître jusqu'à 30% des valeurs optimales.

Une alimentation limitée en potassium, en présence d'une quantité suffisante de magnésium diminue légèrement le nombre de fleurs femelles. Alors qu'un niveau très bas en magnésium ne semble pas compromettre l'induction des deux types de fleurs.

Par ailleurs au niveau de la nouaison l'azote et le magnésium, lorsqu'ils sont à un niveau très bas diminuent considérablement la nouaison. D'autre part, dans le cas d'une quantité trop élevée d'azote un déficit en phosphore présente les conditions les plus défavorables à la nouaison et au grossissement.

C'est le manque de magnésium et de phosphore qui donne les indices de production les plus bas, suivis de très près par l'azote. La nutrition minérale joue, en outre, un rôle essentiel dans la qualité du melon à la récolte.

4.1.4. Les insectes pollinisateurs

Les abeilles et en moindre lieu certains autres insectes (noctuelles, guêpes sauvage, moucheron) ont une influence sur la pollinisation. Dans le Sud on trouve des petites abeilles sauvages, des guêpes et des papillons à stylet long qui travaillent sur le melon.

4.1.5. Hygrométrie

Un état hydrique du sol se situant entre la capacité au champ et le point de flétrissement a une influence positive sur la qualité de la fleur et surtout sur la viabilité du pollen. Une hygrométrie de l'air se situant entre 60 et 70% a une influence favorable sur la libération du pollen.

4.2. Tomate

Il est très important de faire remarquer que des conditions défavorables ont souvent un double effet, notamment.

- au niveau de l'induction florale sur la qualité des fleurs et le nombre de fleurs par bouquet.
- au niveau de la nouaison même des fleurs.

Parallèlement à la croissance de la plante, le développement des organes floraux commence depuis le stade jeune et la température de croissance a une influence également sur le processus d'initiation d'induction florale. Les températures favorables à la floraison sont en général inférieures à celles favorables à la croissance de la plante. La formation des fleurs, la gamétogénèse, la précocité de la floraison, le nombre de fleurs par bouquet, la position de la première inflorescence sont sous la dépendance de la température. La période de sensibilité de la température quant au nombre de fleurs du 1er bouquet est confirmée par plusieurs auteurs lors de la deuxième semaine (9ème au 12ème jour) après l'expansion des cotylédons. Les basses températures accroissent le pourcentage des plants qui possèdent des bouquets bifurqués avec des fleurs doubles. Ceci pourrait être expliqué par un élargissement plus rapide de l'apex aux basses températures.

Par ailleurs certaines conditions peuvent compromettre cette floraison qui est en fait l'organe primaire du processus de fructification. Ainsi, le nombre de fleurs dépend étroitement de la température et de la luminosité. Les températures élevées

4.1.4. Les insectes pollinisateurs

Les abeilles et en moindre lieu certains autres insectes (noctuelles, guêpes sauvage, moucheron) ont une influence sur la pollinisation. Dans le Sud on trouve des petites abeilles sauvages, des guêpes et des papillons à stilet long qui travaillent sur le melon.

4.1.5. Hygrométrie

Un état hydrique du sol se situant entre la capacité au champ et le point de flétrissement a une influence positive sur la qualité de la fleur et surtout sur la viabilité du pollen. Une hygrométrie de l'air se situant entre 60 et 70% a une influence favorable sur la libération du pollen.

4.2. Tomate

Il est très important de faire remarquer que des conditions défavorables ont souvent un double effet, notamment.

- au niveau de l'induction florale sur la qualité des fleurs et le nombre de fleurs par bouquet.
- au niveau de la nouaison même des fleurs.

Parallèlement à la croissance de la plante, le développement des organes floraux commence depuis le stade jeune et la température de croissance a une influence également sur le processus d'initiation d'induction florale. Les températures favorables à la floraison sont en général inférieures à celles favorables à la croissance de la plante. La formation des fleurs, la gamétogénèse, la précocité de la floraison, le nombre de fleurs par bouquet, la position de la première inflorescence sont sous la dépendance de la température. La période de sensibilité de la température quant au nombre de fleurs du 1er bouquet est confirmée par plusieurs auteurs lors de la deuxième semaine (9ème au 12ème jour) après l'expansion des cotylédons. Les basses températures accroissent le pourcentage des plants qui possèdent des bouquets bifurqués avec des fleurs doubles. Ceci pourrait être expliqué par un élargissement plus rapide de l'apex aux basses températures.

Par ailleurs certaines conditions peuvent compromettre cette floraison qui est en fait l'organe primaire du processus de fructification. Ainsi, le nombre de fleurs dépend étroitement de la température et de la luminosité. Les températures élevées

et une luminosité faible seules favorisent la réduction du nombre de fleurs par bouquet ; et combinés ils peuvent entraîner l'avortement complet du bouquet ou former des fleurs anormales : ovaire multiloculaire, pistil allongé rendant d'autopollinisation difficile. Ainsi lorsque le rapport longueur du pistil/longueur des étamines est de 1/12 (0.08) le pourcentage de nouaison n'est que de 16. 2%, quand le rapport est de 0.96 la nouaison est de 60%.

L'humidité excessive entraîne des fleurs de grande dimension à longues sépales. Les températures basses en dessous de 12° C provoquent une ramification des bouquets avec un grand nombre de fleurs ce qui a une influence négative sur le calibre des fruits ainsi sur la qualité.

Quant à la pollinisation chez la tomate, elle commence par la déhiscence des étamines de la fleur, se produisant normalement le 2ème jour de l'anthèse par une fente longitudinale interne. La pollinisation est rendue difficile par une ambiance humide surtout pendant des périodes à luminosité faible, où le pollen n'arrive pas à se libérer des anthères par manque de circulation d'air et si la libération a lieu il y a agglutination. Par ailleurs, la bonne fixation du pollen sur le stigmate nécessite une certaine humidité. Un temps sec affecte défavorablement cette rétention. Le stigmate reste réceptif pendant 4 à 8 jours à partir de 1 à 2 jours avant la déhiscence des étamines. La germination du pollen est meilleure sur des fleurs âgées de 3 à 4 jours.

La qualité du pollen produite est influencée par la qualité de la fleur et par la température. En effet des températures basses (13° C) et des températures élevées (35 - 40° C) donnent ou bien une faible production de pollen ou bien une mauvaise qualité du pollen. Ces températures extrêmes (<13° C et > 35° C) freinent la germination du pollen qui peut être inhibé aussi par le dessèchement des stigmates (HR trop basse, virose, salinité et sécheresse).

La phase qui suit la germination du grain de pollen est matérialisée par la croissance du tube pollinique à travers le style, qui passe dans le microphyle et pénètre dans le sac embryonnaire. La caryogamie chez la tomate se produit normalement plus que avant 50 heures après pollinisation, mais 24 heures après la pollinisation, de nombreux tubes polliniques ont déjà pénétré dans l'ovaire.

Des tubes polliniques de plus de 2 mm de long ne sont observés qu'après 48 heures à 10° C et alors leur longueur moyenne est de 1/3 de celle du style. A basses températures une germination trop lente ne permet pas aux tubes polliniques d'atteindre les ovules pendant la période de réceptivité de ceux-ci. Une bonne fécondation entraîne un grand nombre de graines, génératrices d'une quantité importante d'auxine d'où l'obtention de fruit de grand calibre (au minimum de 50 graines par fruit, ce qui nécessite au moins 300 à 400 graines de pollen). Certains auteurs trouvent chez la tomate une relation logarithmique entre le poids du fruit et le nombre de graines. Par la nouaison on indique la période entre la fécondation et le stade noix (diamètre 2 cm) et les températures nécessaires pour une bonne nouaison se situent entre 14° C et 16° C pour les minima. Les nouvelles variétés françaises peuvent nouer à des températures de 10 à 12° C, alors que les variétés hollandaises demandent plutôt 16 à 18° C. Il est à signaler que la température moyenne nocturne (moyenne de toute la nuit) est plus importante à considérer que la température minimale absolue. Par ailleurs le gène pat-2 peut sensiblement améliorer la nouaison parthénocarpique à basse température mais des conséquences néfastes sur la croissance et la qualité de la production si les températures de sol ou substrat sont trop faibles.

LES CULTURES SUR SUBSTRAT : ETAT DES ACQUIS ET PERSPECTIVES D'AVENIR EN TUNISIE *

1. Définition, historique et domaine d'application.

La culture sur substrat peut être définie comme la culture d'espèces végétales dans un milieu isolé du sol.

Conçue par Boussingault aux environs de 1850 à des fins scientifiques, puis utilisée comme telle par les physiologistes du monde entier pendant la deuxième moitié du 19^{ème} siècle pour étudier la nutrition minérale des plantes, la culture hors sol n'est sortie du laboratoire qu'en 1929 et ceci sous l'impulsion de l'Université de Californie. Grâce à l'appui de quelques firmes privées et malgré un scepticisme quasi-général, le Dr Gericke a réussi à démontrer l'intérêt de cette technique au niveau de la production agricole.

En 1936 les premières entreprises commerciales ont commencé à utiliser cette technique, alors que durant la seconde guerre mondiale, l'armée américaine a utilisé cette technique dans les Iles du Pacifique pour nourrir ses troupes.

En France on enregistrait début 1986 plus de 400 Ha de production légumières sur substrat, surtout consacrés à la tomate et au concombre. En Hollande on compte plus de 2000 Ha de cultures sur laine de roche, alors qu'en Belgique 250 Ha sont conduites sur laine de roche et 50 Ha en cultures hydroponiques (NFT - nutrient film technique). La production de jeunes plants en mottes est à considérer également comme une culture (temporaire) sur substrat.

La progression des cultures sur substrat s'explique par l'obtention rapide de résultats encourageants. Ces résultats positifs s'expliquent par le fait que les cultures sur substrat permettent :

- l'affranchissement du sol et des ses contraintes, dont notamment certains paramètres difficiles à standardiser et à contrôler (humidité, température, structure, texture, degré de salinité) et certains autres problèmes (infestation par des maladies,

*4^{ème} Séminaire National de formation dans le cadre du Projet Géothermie PNUD / TUN 85/004.

- désinfection, fatigue du sol, etc...).
- la standardisation et l'automatisation de la culture, grâce à la mise au point de normes fiables.
 - une maîtrise énergétique facile et à faible coût du milieu radicaire.
 - l'obtention de récoltes plus précoces et de rendements plus élevés en produits de meilleure qualité.

2. Les éléments pour une culture sur substrat

La culture sur substrat nécessite pour sa mise en œuvre plusieurs éléments : le substrat, le conteneur ou le bac contenant le substrat, la solution nutritive, le système de distribution de l'alimentation et les systèmes de contrôle divers.

2.1. Le substrat

Le substrat est le milieu remplaçant le sol, dans lequel les racines s'installent et où elles sont en contact avec la solution nutritive. On peut classer les substrats en 2 catégories différentes, notamment :

- un premier groupe correspondant aux substrats physico-chimiquement inactifs comme : la pierre ponce, la pouzzolane, l'argile expandée, les sables, les graviers siliceux, le polyuréthane recyclé, la laine de roche, etc... Ils sont caractérisés par le fait qu'ils n'interviennent pas dans l'alimentation minérale de la plante et par un CEC très faible, ce qui implique l'obligation de faire appel à des solutions nutritives très bien équilibrées. Le moindre erreur se répercute presque directement sur la plante.

- un deuxième groupe comprenant les substrats physico-chimiquement actifs, comme : les tourbes, les terreaux végétaux, les écorces, les graminées marines du type *Posidonia oceanica*, etc... Dans ce cas le substrat a une CEC relativement élevée et peut donc stocker et céder des éléments nutritifs au végétal.

A part ces deux groupes il y a également les cultures hydroponiques, ce qui consistent à cultiver dans un film d'eau nutritif, d'ou le nom "nutrient film technique" (NFT).

Dans le choix d'un sbustrat il faut également tenir compte de ces caractéristiques techniques et économiques :

Les caractéristiques techniques importantes sont :

- l'aération,
- le mouvement et la circulation de l'eau dans le substrat,
- la résistance à l'entassement,
- la dégradation nulle ou lente afin de permettre sa réutilisation,
- l'absence de particules pouvant blesser les racines,
- l'absence d'éléments toxiques :

L'utilisation des écorces nécessite une fermentation préalable pour éviter l'effet négatif des monoterpènes. Les caractéristiques économiques que l'on doit analyser avant de choisir un substrat sont : le prix d'achat, le coût de transport, l'infrastructure nécessaire pour la mise en œuvre, la durée d'amortissement et le coût d'exploitation.

Les substrats les plus utilisés à l'étranger sont le pouzzolane, les sables grossiers de différents origines, la laine de roche, les tourbes, le polyuréthane recyclé et les écorces d'arbres.

Le pouzzolane est un matériau d'origine volcanique. Son pH est de 6.5, sa capacité d'échange cationique (CEC) est presque nulle (1 à 2 me) et la capacité de rétention en eau est 19% de son poids. Il s'agit d'un substrat bien aéré. Les inconvénients de ce substrat sont sa faible capacité de rétention d'eau et son poids relativement lourd. Il y a d'autres matériaux d'origine volcanique comme le basalte, avec un CEC de 5 me et un pH de 7 à 8.

Les sables contenant moins de 10% de calcaire sont utilisables comme substrat. On utilise de préférence des sables grossiers ou des graviers très fins de carrière ou de rivière, mais dans certains cas on utilise des sables grossiers ou des graviers fins récoltés sur les plages, comme pour l'arénado en Espagne. Dans ce dernier cas il faut les laver avant leur installation. Les sables fins ont une assez bonne capacité de rétention en eau, mais sont sensibles aux problèmes de tassements, ce qui peut provoquer des asphyxies. La capacité d'échange cationique dépend du type de sable, mais se situe en général autour de 25 me (de 10 à 40), ce qui est inférieur au CEC d'un sol sablonneux (40 à 80 me). En plus il est très lourd et sa porosité est faible. Les graviers fins ou les sables grossiers ont une rétention en eau moins bonne, mais présentent des porosités plus élevées. La conduite d'une culture en substrat de sable

dépendra donc largement de sa porosité et en fonction de ceci le nombre d'irrigations ainsi que la dose par irrigation est à adapter.

La laine de roche est issue d'une fabrication industrielle à partir d'un mélange de roches volcaniques fondues et extrudées à plus de 1500° C. La laine de roche n'est pas chimiquement inerte et elle peut libérer du calcium. Son pH se situe entre 7 et 9.5, sa CEC est presque nulle (0 à 1 me) et sa capacité de rétention en eau est de 70 à 80% de son volume. La laine de roche est vendue en pains (généralement de 100 x 15 x 7.5 cm). Pour l'élevage des plants il existe des cubes de laine de roche de différentes dimensions. Les inconvénients de la laine de roche sont sa faible réserve de solution nutritive liée à un faible volume, la sensibilité au tassement et surtout sa perte de porosité après plusieurs utilisations, son encombrement après emploi et sa faible inertie chimique. La laine de roche exige donc un très bon système d'assistance de l'irrigation et de la fertilisation. L'irrigation est couplée au rayonnement reçu et le système se déclenche dès que la capacité de rétention du système est théoriquement consommée. Les pains de laine de roche sont réutilisables une deuxième année et pour ceci on désinfecte ce substrat.

Les tourbes proviennent de la désagrégation de différents végétaux poussant dans les marais. Les meilleures tourbes pour les cultures sur substrat sont les tourbes blondes car elles ont une bonne porosité et une bonne rétention de l'eau (1 à 2 fois leur poids). Par contre les tourbes brunes ont une trop grande rétention en eau (de 4 à 7 fois leur poids). Les tourbes posent des difficultés pour leur réhumidification après avoir laissé sécher le substrat et il y a également des difficultés pour la désinfection. Les tourbes deviennent relativement vite asphyxiantes. La capacité d'échange des tourbes blondes est voisine de celle d'un sol limoneux (80 à 150 me) et celle des tourbes noires est voisine de celle des sols argileux (300 à 450 me).

Le polyuréthane recyclé (Agrofoam) est vendu en pains et peut être utilisé pendant 5 ans ou plus. La CEC est légèrement plus élevée que pour la laine de roche, mais reste très faible (2 à 5 me). Ce matériau a une capillarité plus faible que la laine de roche, ce qui entraîne des arrosages plus fréquents mais de durée plus réduite que pour les pains de la laine de roche. Par contre, le polyuréthane (PU) conserve sa structure initiale pendant plusieurs années, alors que le tapis de laine de roche doit déjà être remplacé après 2 ans. Ceci permet de remédier au problème de déchets et le PU est donc une solution plus écologique. De même, le PU peut être désinfecté à la vapeur et, de plus, être recyclé à nouveau.

Les écorces d'arbres composté, surtout du pin, sont très bien utilisables à condition de respecter la dimension des particules, notamment 30% de particules se situant entre 0 et 2 mm et 70% des particules se situant entre 2 et 20 mm. Les écorces doivent être compostés au préalable de leur utilisation afin de réduire la relation C/N pour éviter les phénomènes de fixation d'azote, pour tuer certains insectes et champignons néfastes (l'Aspergillus et la fumagène) et pour éviter la présence de certaines substances phénoliques phytotoxiques comme les monoterpènes. Lors du compostage il faut ajouter environ 3 kg/m³ de chaux pour éviter la fixation de Ca durant la culture et il faut veiller à l'apport du fer, vue la richesse en Mn de ce substrat (balance Mn/Fe). La CEC de ce substrat se situe entre 70 et 80 me et il présente des problèmes de tassement en utilisation prolongée.

Quelques autres matériaux comme l'argile expansé, le perlite, le vermiculite, les déchets de la fabrication de pâtes de papier ont été essayés comme substrat. Plus récemment des produits complètement synthétiques, à base de substances acryliques, ont été essayés avec des succès mitigés.

La technologie des cultures en hydroponique (NFT) a été mise au point à la Station de Littlehampton par Mr. Cooper, qui a défini les normes pour la solution nutritive. Cette technique consiste à faire circuler la solution nutritive dans des gouttières rectangulaires larges de 30 cm environ et confectionnées en général avec des films plastiques épais de 350-500. Ces gouttières sont installées sur des banquettes légèrement surélevées par rapport au sol et en respectant une pente de 1,5% pour faciliter l'écoulement de l'eau. Les gouttières sont de couleur noire à l'intérieur et blanc laiteux à l'extérieur. Dans cette technologie on fait utilisation d'eau recyclé avec un contrôle en continu ou régulier de la solution nutritive. Depuis l'apparition des problèmes avec le *Fusarium oxysporum radialis* l'eau est stérilisée avant d'être renvoyé dans les gouttières. Pour éviter les algues on a intérêt à fermer les gouttières par des épingles ou des agrafes.

Le NFT connaît deux variantes, notamment le NFT continu, comme il a été mis au point à l'origine, et le NFT intermittent, qui est en fait un mélange du NFT avec les cultures en substrat. Dans le premier cas on pose un pot en laine de roche dans la gouttière, dans le deuxième plus importante (souvent 20 x 10 x 7,5 cm).

2.2. Les bacs contenant le substrat

Ils isolent le substrat du sol et le contiennent. Ils doivent être chimiquement inertes, étanches, de mise en œuvre facile et plus ou moins durable. On adapte leur forme et leurs dimensions au type du substrat, à la culture, mais aussi à l'abri.

On peut distinguer :

- les bacs en maçonnerie (ciment, brique, pierre...) qui doivent être recouverts d'un enduit neutre et étanche ou d'un film plastique.
- les bacs en bois revêtus d'un film plastique.
- les matériaux plastique souples soit en sac boudin, soit en boudins longs avec une fente en continu.
- les bacs en plaques de polypropylène à canaux, plus ou moins rigides.

Les premiers essais en culture hors sol furent effectués en utilisant des sacs en polyéthylène de couleur blanc laiteux contenant 45 litres de substrat. Dans ces sacs on plantait 3 plantes.

2.3. La solution nutritive

Le rôle de la solution nutritive est d'apporter l'eau, les éléments minéraux et les oligo-éléments nécessaires à la culture. Il existe une grande diversité de solutions nutritives. Dans les régions Sud on utilise très souvent les solutions établies à partir de la méthode Coïc-Lesaint (INRA). Cette méthode, est basée sur la mise à la disposition des plantes d'une solution équilibrée ioniquement et calculée à partir d'études sur la physiologie et la composition des végétaux. Elle est légèrement différente des solutions utilisées dans les régions plus au Nord, où on utilise des teneurs en azote plus faible et des teneurs en potassium plus élevées.

Pour distribuer cette solution nutritive on utilise le principe de dilution d'une solution concentrée, dite solution mère, par injection de cette solution mère dans l'eau d'irrigation. Trois principes régissent la fabrication de ces solutions-mères notamment :

- la solubilité : si le choix est possible on opte pour les engrais les plus solubles.
- La compatibilité : il n'est pas possible de mélanger dans une faible quantité d'eau des phosphates et certains sulfates avec des engrais contenant de calcium, ou en milieu alcalin des engrais contenant du magnésium.
- la teneur en calcium et en magnésium de l'eau : il n'est pas possible de

dissoudre une grande quantité de phosphates ou de sulfates dans une eau très riche en calcium ou en magnésium, sans l'avoir préalablement acidifiée.

En général on prépare deux bacs de solutions mères, mais dans certains cas on utilise 3 bacs. Le premier bac est à pH inférieur à 2 et contient l'azote, du potassium, du magnésium, les oligo-éléments sauf le chélate de fer. Ce bac ne contient jamais du calcium car il y a risque de précipitation de phosphate tricalcique (phosphate de calcium insoluble). Le pH du deuxième bac se situe entre 4 et 6 et il contient de l'eau, de l'acide (le plus souvent nitrique), le calcium sous forme de nitrate, le chélate de fer, le reste du potassium sous forme de nitrate, le magnésium sous forme de nitrate et l'azote sous forme d'ammonitrite.

Ces solutions mères sont injectées à en dilution d'environ de 2% à 2% dans l'eau d'arrosage, qui devient alors la solution nutritive (solution fille) dont le pH est alors voisin de 5,8.

2.4. Limites des cultures hors sol

Après plusieurs années d'observation il apparaît que les cultures sur substrat sont relativement facilement envahissables par les *Fusarium oxysporum*, (transmission des spores par l'air). Il a été également constaté que les cultures en substrat sont en général facilement envahies par des parasites de faiblesses comme le *Pythium*, le *Phytophthora*, le *Fusarium* et le *Colletotrichum*, dont l'infestation se propage très facilement par l'eau dans les substrats beaucoup plus riches en eau que les sols classiques.

Les dernières années il y a eu apparition du *Fusarium oxysporum radicum*, qui peut envahir les serres en hors sol ou en NFT en quelques jours. C'est pour cette raison que les Hollandais stérilisent les eaux avant de les réutiliser.

3. Problèmes des cultures classiques en substrat naturel en Tunisie

Les sols sous serre plastique en Tunisie sont souvent infestés de nématodes (*Meloidogyne* spp.) et/ou de champignons nuisibles provoquant des trachéomycoses chez les cultures plantées sous serre. Plusieurs champignons nuisibles aux cultures restent longtemps en vie dans le sol sur des débris végétaux comme par exemple le *Didymella lycopersici* (pied noir de la tige de la tomate) et le *Pyronocheata lycopersici* (corky-root). La criblure de melon est transmise par un champignon vivant dans le sol, l'*Olpidium*. Certaines bactéries comme le *Corynebacterium michiganense* peuvent à partir d'un sol infecté, pénétrer dans la plante par des blessures des racines. Certains virus sont transmissibles par le sol (le TMV).

Bien que la pratique d'un assolement permet de réduire les dégâts et retarde l'apparition des problèmes au niveau du sol, elle n'est jamais arrivée, à elle seule, à les éliminer totalement.

En Tunisie les sols sous serre plastique sont de plus en plus déséquilibrés et infestés des maladies et parasites divers en raison des rotations trop courtes et par une orientation qui tend de plus en plus vers une mono-culture intensive et continue.

Pour remédier à ces difficultés, certains agriculteurs ont eu recours à des mesures qui tendent à renouveler totalement ou complètement la terre exploitée, notamment par :

- le déplacement des serres.
- l'apport de terre vierge (comme l'apport de terre de Jujubier dans les serres dans certains régions de Sfax).

Ces opérations s'avèrent onéreuses et le manque de terres vierges dans les régions maraîchères habituelles, nécessite la recherche d'autres procédés, comme :

- la désinfection du sol
- la lutte biologique
- la résistance variétale
- le greffage

3.1. La désinfection du sol

Par la désinfection du sol, on peut se libérer des insectes nuisibles et de leurs larves, des nématodes et des champignons parasites, parfois aussi des mauvaises herbes et de certains virus. La désinfection peut se faire par des produits chimiques ou par la chaleur (vapeur, eau chaude, solarisation).

La désinfection à la vapeur (température de 80 à 90°C pendant 5 à 10 minutes) a des répercussions sur la biologie et l'état physique et chimique du sol. La température détruit successivement à

- 50° C (10 minutes) les insectes (larves et adultes) ;
- 53° C les Rhizoctonia ;
- 55° C les Verticillium ;
- 60° C (10 minutes) les Sclerotinia, Botrytis ;
(30 minutes) les nématodes ;
- 70° C les semences d'adventices ;
- 75° C les Fusarium oxysporum ;
- 90° C (10 minutes) les TMV.

Une température de 80 à 90° C détruit aussi les bactéries nitrifiantes : la teneur en ammoniac et par conséquent le pH augmente et il y a risque de phytotoxicité pour certaines plantes sensibles au NH_4 comme le concombre. Les températures élevées favorisent la solubilisation du manganèse, des phosphates et du potasse. Ceci peut occasionner des troubles de végétation par excès de salinité totale ou par excès d'un élément.

Certains insecticides, fongicides et nématicides peuvent être utilisés pour désinfecter les sols. Certains produits sont toxiques et laissent des résidus et sont pour cette raison interdits dans certains pays (c'est le cas de la bromure de méthyle en Hollande).

3.2. Lutte biologique

Des champignons nématophages ont été utilisés dans la destruction de certaines Méloïdogyne spp.

3.3. Résistance variétale

Actuellement il y a un grand nombre de variétés et hybrides de tomate présentant des résistances contre certaines maladies du sol (*Verticillium*, *Fusarium*, Nématodes, *Pyranocheata*) permettant aux maraîchers d'avoir un choix plus large et surtout mieux adapté aux conditions de milieu et aux objectifs choisis. Il en est de même pour la résistance au *Fusarium* du melon et pour la résistance au *Phytophthora capsici* du piment. Il faut toutefois signaler, dans certains cas, l'apparition de nouvelles races de parasites comme c'est le cas pour la Fusariose si bien pour la tomate que pour le melon, ce qui montre les limites de ces résistances, qu'il faut surtout utiliser à bon escient.

La résistance génétique connaît encore d'autres limites, comme :

- la rupture de la résistance par des températures élevées (dépassant 30° C) : l'existence de températures élevées dans le sol au moment de la pénétration des larves de nématodes peut détruire temporairement la résistance de la tomate.
- le cumul de plusieurs résistances entraîne souvent une certaine tardivité, des défauts de coloration de fruits et/ou des problèmes de fertilité à basse température.
- l'absence de résistances compatibles avec l'obtention de fruits de qualité commerciale (résistance au nématodes chez le melon).

3.4. Greffage

Le greffage permet d'éviter le contact entre la plante sensible et le sol infesté. Le greffage de la tomate sur porte greffe KNVF bien utilisé dans le temps, se pratique de moins en moins vu l'apparition d'une large gamme des variétés résistantes.

Le melon peut se greffer sur *Benicasa* et *Cucurbita filicifolia* pour lutter contre la fusariose vasculaire et ceci permet de procurer une moindre sensibilité au nématodes. Le greffage de l'aubergine sur tomate résistante aux nématodes et au *Verticillium* permet d'éviter ces deux fléaux. Le greffage du piment sur PHIO 636, P51 permet de s'affranchir des problèmes majeurs posés par le *Phytophthora capsici*.

L'obtention de variétés partiellement résistantes tend également à faire disparaître cette technique.

4. L'introduction des cultures sur substrats en Tunisie

La réussite partielle des possibilités exploitées pour résoudre les problèmes d'origine tellurique pour les cultures sous serre à fait naître l'idée d'utiliser les cultures sur substrat pour s'affranchir du sol contaminé ou médiocre à la culture et a poussé le Laboratoire de Cultures Maraîchères de l'INAT et ensuite la SAN à entreprendre des recherches dans ce domaine, en utilisant comme substrat des graminées marines (*Posidonia oceanica*).

A l'origine les expériences ont été réalisées dans des sacs boudins classiques en utilisant le volume classique (45 litres pour 3 plantes). Ultérieurement la technique a été adaptée au fur et à mesure aux contraintes posées par le climat Tunisien sous serre plastique non climatisée.

Le substrat utilisé *Posidonia oceanica*, une graminée marine, se trouve rejeté en abondance sur certaines plages tunisiennes. Avant son utilisation la désalinisation de ce substrat impose un lavage important par une quantité d'eau équivalent à une pluviométrie de 50 mm pour un produit mis en tas sur une hauteur de 75 cm environ. Le matériau est relativement résistant à la biodégradation et peut donc être réutilisé plusieurs années consécutives. La réhumectation après le dessèchement est relativement facile. Le substrat a les caractéristiques suivantes : pH 6.8 (après compostage) ; de quelque mais CEC 72,2 ne par 100 grammes de substrat, densité apparente inférieure à 0.250 g/cm³, propriétés physiques et chimiques convenables.

5. Etat des acquis en Tunisie

Les recherches entamées à l'INAT depuis 1977, sur l'utilisation des graminées marines (*Posidonia océanica*) en horticulture, ont passé par les étapes suivantes :

- des essais ayant permis de constater qu'un mélange se composant de 80% de compost de graminées marines avec 20% de compost de feuilles de chêne-liège permettaient de fabriquer des mottes pressées de très bonne qualité physique et que les plants de pépinière obtenus dans ces mottes étaient de même qualité que ceux obtenus dans des mottes pressées avec un compost de feuilles de chêne-liège.

- Les très bonnes qualités physiques du compost à base de ces graminées marines ont été mises en évidence par le laboratoire de la Science du sol de l'INAT.

- Les premiers résultats de l'utilisation de ce compost comme substrat de culture pour une tomate de primeur cultivé en sac boudins ont permis de constater que l'addition d'une quantité de matière organique sous forme de paille permettait d'améliorer les résultats, surtout que la culture dans un compost de graminées marines pures extériorisait assez rapidement des nécroses foliaires marginales (voir fiche 1). Les expériences étaient conduites en utilisant l'irrigation localisée avec des gaines suintantes à basse pression type Viaflo.

- L'addition de 25% de fumier décomposé dans le substrat a permis complètement le maîtriser ces nécroses marginales, tandis que l'addition dans le boudin avant la plantation d'engrais à action lente de type Osmocote a permis d'obtenir des fruits de calibre supérieur, toutefois inférieur à celui du témoin cultivé en sol. La qualité des fruits obtenue par la culture en sac boudin à base de graminées marines était supérieure à celle du témoin (voir fiche 2).

- D'autres expériences à l'INAT ont permis de conclure que la culture de la tomate de primeur en sac boudin, en utilisant un substrat à base de graminées marines, est possible dans la pratique. Les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant des sacs de grand volume (45 litres) remplis avec un substrat se composant d'un compost de P.O additionné de 10% de fumier bien décomposé. En date de plantation tardive cette culture a permis d'obtenir un rendement précoce et un rendement total supérieur à celui du témoin, le calibre de fruits restant toutefois légèrement plus faible que celui du témoin. La précocité semble surtout due à une température plus favorable au niveau des racines en début de culture (voir fiche 3).

- La réutilisation du substrat semble possible pendant au moins 3 années de culture et les résultats culturaux s'améliorent jusqu'en 3ème année. En 4ème année une chute de récolte a été constatée (culture de tomate), et on constate également une accumulation de quelques oligo-éléments (Zn et Cu) probablement par les traitements à fongicides ainsi qu'une porosité plus faible du substrat, exigeant alors une adaptation du régime d'irrigation. En ajoutant en 5ème année d'utilisation du Calcium au substrat, on arrive à obtenir à nouveau des résultats comparables aux rendements obtenus sur substrat en 2ème année d'utilisation (voir fiche 4).

- Des expériences ultérieures ont montré que l'on pouvait continuer la

culture jusqu'en 7^{ème} année avant d'avoir de problèmes réels de tassement et d'asphyxie. C'est aussi à ce moment que les premiers cas de flétrissements ont été constatés.

- Des essais ont été entrepris, à partir de 1978, à la SAN (Station d'Appui de Nebhana) à Monastir en cultivant la tomates et de melon sur substrat de graminées marins fumier (20%) en sacs boudins ou en fossés. L'irrigation des cultures sur substrat se faisait par la système de goutte à goutte "Capillaires". Les quantités d'eau étaient calculées à partir de l'ETP-serre en tenant compte de la réduction de la surface évaporante au niveau du sol (cas des boudins ou de paillage) et des pertes de drainage. La fréquence des arrosages était journalière jusqu'à fin avril environ, après on irriguait 2 fois par jour pour abaisser davantage la température dans les boudins.

Avant la mise en sac ou en rigole, 20% de fumier décomposé ainsi qu'une grande partie de besoins en phosphate est mélangé avec les algues. Le fumier permettent de fournir les besoins en oligo-éléments. En plus on ajoutait au substrat du Fetrilon-combi (mélange d'oligo-éléments). Les autres éléments étaient apportés en solution et fractionnés, d'après un bilan escompté pour l'exportation supposée d'éléments nutritifs pour la culture en question, tout en tenant compte des pertes éventuelles par drainage (voir fiche 6).

- Ensuite cette technique de culture en hors sol est passé au stade de pré-vulgarisation. Chez un agriculteur privé à Teboulba (périmètre infesté de nématodes et maladies vasculaires) toute une serre a été plantée en tomate sur boudins remplis avec des Posidonies + fumier (20%). Bien que les rendements obtenus étaient bons et comparables à une culture de tomate en sol désinfecté, quelques obstacles n'ont pas permis la vulgarisation de cette technique :

- + le suivi régulier était nécessaire pour réussir la culture à cause du niveau de technicité assez bas de l'horticulteur.
- + la disponibilité en eau de barrage Nebhana était précaire, ce qui imposait un tour d'eau hebdomadaire, ce qui ne va pas de pair avec une culture hors sol.
- + peu de systèmes de goutte à goutte sont réparties dans les périmètres de l'OMIVAN.

6. Perspectives d'avenir

Afin de réussir la technique de cultures hors sol dans les périmètres du Sud de la Tunisie, il faut la simplifier le plus que possible :

- utiliser du sable non salin comme substrat, avec un volume minimal de 25 à 30 litres par plante (dans le plein sol une plante occupe environ entre 50 et 70 litres de volume), ceci afin d'agrandir l'effet tampon du substrat. Ceci correspondra à des séguias de 70 cm de largeur avec une profondeur de 30-36 cm, ce qui donne un volume de 200 à 250 litres par mètre linéaire. De préférence on plantera en lignes jumelées sur le substrat.

- on irrigue de telle façon qu'on obtient un drainage minimal de 10 à 15%. Ce drainage permet de lessiver les éléments (fertilisants et autres) non consommés et évitera les toxicités.

- contrôle régulier du pH et contrôle journalier de la conductivité de la solution de drainage. La mesure de la conductivité du drainat avec un conductivimètre numérique simple et portable permet d'estimer sa concentration en sels dissous. Il ne faut pas oublier que la conductivité électrique (CE) est étroitement liée à la température de la solution. Le drainage peut se faire soit en mettant un tuyau perforé en PVC 25 ou PP 25 en bas des rigoles et entouré d'une petite couche de gravier fin, tout en assurant une pente faible de l'ordre de 1,5%, soit en assurant une pente des rigoles de 2% (2 m sur une longueur de 1 km) et en assurant la collecte des eaux à la fin de la serre.

- le point le plus délicat se trouve au niveau de la fertilisation des cultures hors sol. En mélangeant des petites quantités (1 à 2 kg/m linéaire) de fumier bien décomposé au substrat (dans ce cas du sable) on peut pallier pour une grande partie aux déficiences en oligo-éléments. Ce fumier doit être bien fermenté pour éviter d'apporter des maladies avec cet apport du fumier.

On utilise une solution nutritive adaptée à l'espèce cultivée. Cette solution, de composition connue, est distribuée aux plantes en quantité suffisante et la plante prélève de l'eau et des éléments fertilisants. Sur le drainat (environ 10 à 15%), on fait les contrôles suivants :

- + on mesure la quantité drainée et par différence avec la quantité apportée, on obtient la consommation de la culture.

- + si la conductivité de drainat est environ celle de l'apport, aucune

intervention est nécessaire. Si elle est supérieure cela signifie que les plantes n'ont pas prélevé tous les éléments fertilisants et une analyse pourrait éventuellement indiquer lesquels, mais il y a donc lieu de diminuer la concentration de la solution fertilisante. Par contre une concentration inférieure à celle de l'apport indique que les plantes prélèvent plus d'éléments que contenu dans l'eau de la solution apportée. Il faut alors augmenter la concentration de la solution apportée.

- la température du substrat peut être régulée facilement en mettant une ou plusieurs boucles de Gabèse de chauffage sous les rigoles.

7. Fiches

FICHE 1

objet : comparaison d'une culture de tomate hors sol (Posidonia océanica pur (PO) et PO + 15% de paille) avec la culture dans un sol désinfecté (Basamid) et témoin (culture classique dans le sol).

techniques : culture en sacs, contenance de 45 litres pour 3 plantes.

Fertilisation : stimufol + sulfate de potassium + sulfate de magnésium.

résultats : - meilleure précocité pour les cultures hors sol

- rendement total (kg/m²) et poids moyen (grammes)

témoin	7.5 kg/m ² et 61 g
sol désinfecté	8.5 kg/m ² et 64 g
PO + paille	6.8 kg/m ² et 55 g
PO	5.7 kg/m ² et 47 g

FICHE 2

Objet : comparaison d'une culture classique de tomate dans le sol avec une culture dans de sacs remplis de P.O pur et P.O + 25% de fumier bien décomposé. La fertilisation se faisait à partir du Osmocote (9 mois, 18-11-11), Osmocote (4 mois, 15-12-15) ou Mairol (14-12-14 + Mg, S et oligo-éléments).

technique : culture en sacs, contenant 50 litres de substrat, par sac 3 plantes de tomate.

résultats :

- P.O pur : déficience en potasse, nécrose marginale des feuilles
- précocité : meilleure (P.O + fumier + Osmocote 9 mois).

puis le témoin		
puis la reste des objets		
- rendement total (kg/m ²) et poids moyen (g)		
témoin	15.4 kg/m ²	93.5 g
(P.O + fumier + Osmocote 9 mois)	10.9 kg/m ²	62.3 g
autres objets	9.0 kg/m ²	57.9 g

- qualité de fruits :

dans les boudins la meilleure qualité

matière sèche : P.O pur	5.1 à 5.4%
P.O + fumier	5.6 à 7%
témoin	4.4%

pH : à peu près identique pour tous les objets.

la résistante au transport était meilleure pour les tomates cultivées dans des sacs.

FICHE 3

objet : comparer différents volumes de substrat par plante et différents taux de fumier sur la précocité, rendement et qualité des fruits.

technique :

volumes : 45,33 et 22 litres par sac de 3 plantes

fumier : 0,5 , 10 , 20 et 40% en volume

fertilisation : Osmocote 4 mois

résultats :

- température minimale et maximale plus élevée dans les sacs que dans le sol (- 5cm)
- développement des plantes : au début les plantes dans les sacs que dans le sol (- 5cm)
- développement des plantes : au début les plantes dans les sacs à P.O + fumier étaient mieux développées (tiges plus épaisses + plus hautes) que le témoin. Après 90 jours l'inverse).
- nécroses foliaires marginales sur P.O pur (excès de Bore) et P.O + 40% de fumier (salinité).

production en culture de courte durée :

meilleure production dans les sacs.

le poids moyen des fruits est meilleur pour le témoin.

témoin	5.3 kg/m ²	102 g
P.O pur	6.2 kg/m ²	77.8 g
P.O + 5% fumier	7.2 kg/m ²	81.9 g
+ 10% fumier	7.7 kg/m ²	88.4 g
+ 20% fumier	6.9 kg/m ²	86.8 g
+ 40% fumier	6.3 kg/m ²	78.8 g
volume 45 l	7.7 kg/m ²	93.1 g
33 l	7.1 kg/m ²	88.3 g
22 l	5.2 kg/m ²	75.9 g

qualité de fruits :

P.O + fumier : meilleure résistance au transport

matière sèche : 4.4 à 4.8%

pH 4.3

témoin : matière sèche 3.9

pH 4.2

FICHE 4

objet : réutilisation de graminées marines pendant 5 années, influence sur la culture de tomate.

technique : culutre de tomate dans des fossés couvertes en bas par du polyéthylène (de récupération). Ces fosseés ont une profondeur de 15 cm et une largeur de 30 cm et sont remplis au démarrage avec du Posidonia océanica mélangé avec 20% de fumier bien décomposé.

Après chaque année de culture, on ajoutait 60 kg de fumier par m³ de substrat.

résultats :

- capacité de rétention d'eau et la quantité d'eau disponible est meilleur dans les substrats réutilisés.

- composition chimique :

accumulation de Zn, CU et Mn dû à l'utilisation de pesticides (Zineb, cuprosan et manèbe)

le taux de Ca et Mg diminue avec l'âge de réutilisation

- agronomiques :

témoin

5.9 kg/m²

48.5 g

1ère année	6.8 kg/m ²	56.6 g
2ème année	8.9 kg/m ²	66.9 g
3ème année	10.9 kg/m ²	63.6 g
4ème année	8.3 kg/m ²	65.6 g
5ème année	7.3 kg/m ²	64.3 g
5ème + Ca	8.9 kg/m ²	62.8 g

FICHE 5

culture de tomate (campagne 79-80)

objet : effet d'un ajout d'oligo-éléments au substrat.

technique : PO sans fumier, avec ou sans Fetrilon (mélange commerciale d'oligo-éléments), dans des sacs de 45 litres pour 3 plantes.

3 car. H 63-5, Lucy et Réal, plantation 23/11/79.

résultats : toutes les variétés confondues

rendement avec Fetrilon	3.5 kg/pl
sans Fetrilon	2.98 kg/pl
poids moyen avec Fetrilon	71.2 g
sans Fetrilon	67.1 g

température	janvier	février	mars	avril	mai
substrat	13	15.5	16.5	17	21
sol	13.1	16	16.8	17.4	21.4

FICHE 5 bis

- culture de tomate (83/84)

objet : comparaison de graminées broyées (B) et non broyées (NB), substrat en 2ème année (A2) et 3ème année d'utilisation (A3).

technique : culture dans des fossés creusés et remplis de P.O + 20%, variété Feria, plantation 4/11, Fetrilon 5g/50 litres de substrat.

résultats :	rendement	poids moyen
B	8.1kg/m ²	60 g
NB	7.2 kg/m ²	61 g
A2	9.1 kg/m ²	69 g
A3	8.2 kg/m ²	60 g

FICHE 5 ter

- culture de melon

objet : comparaison 1ère année (A1) et 2ème (A2) d'utilisation de substrat.

technique : 2 variétés : Super Sprint et Cantor

semis 10/12 en pépinière

plantation sur substrat : 14/2/82

résultats :	A1	A2
1981/82	3.3 kg/m ²	2.9 kg/m ²
1982/83	2.23 kg/m ²	2.64 kg/m ²

FICHE 6

- culture de tomates dans la Pal de Teboulba

objet : comparer le rendement d'une moitié de la serre plantée en hors sol avec la moitié en plein sol.

technique : 2 variétés Lucy et Noria, plantation 27/1

P.O + 20% fumier

résultats :	plein sol	hors sol
rendement	6.05 kg/m ²	5.95 kg/m ²
poids moyen	49.2 g	49.2 g

Documents consultés

- Cultures légumières sur substrat CTIFL
- La culture à haute technologie des légumes sous verre. F. Benoit
Revue de l'Agriculture n° 4 vol 40 juillet - août 1987
- Plusieurs mémoires de fin d'étude (INAT) :
 - + Culture de tomate de primeurs sous serre en sacs boudins à base de Posidonia océanica (Zmiti Ali - juillet 1980)
 - + idem (Kamoun Sadok - juillet 1981)
 - + Possibilités de réutilisation du substrat à base de Posidonia océanica (Ben Abdallah) juillet 1983)
 - + Contribution du compostage et des compost de quelques matériaux organiques d'origine végétale (Othman Braham - janvier 1989)
- Plusieurs publications dans
 - + Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent 45/3 - 1980
 - + idem 46/2 - 1981
 - + Acta Horticulturae 126, 1981 p 263 e.v
 - + idem 150, 1983 p 439 e.v

- + idem 172, 1985 p 157 e.v
- + idem 172, 1985 p 231 e.v
- Rapports annuels de la SAN

LE SEMIS DIRECT ET SON INFLUENCE SUR LE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME RACINAIRE DE LA TOMATE *

1. Introduction

Depuis 1920 beaucoup d'études analysent le développement des racines et leur influence sur la croissance et les récoltes, mais on utilisait surtout comme référence le poids des racines.

Vers les années 1950 on a commencé à faire une approche plus physiologique avec une description quantitative des racines, notamment :

- la longueur totale de toutes les racines (en cm)
- le profondeur de l'enracinement
- la longueur totale de racines par unité de volume de sol (cm / cm³)
- la longueur totale de racines par unité de surface cultivée (cm / m²)
- la distribution des racines dans les différentes couches.

La tomate est une plante connue pour son adaptation facile et aisée au niveau de son système racinaire. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'enracinement chez la tomate notamment :

- les techniques utilisées pour l'installation de la culture (semis direct, plantation racine nue, ou plantation de plantes élevées en mottes)
- le contexte génétique (mutants, type de croissance)
- les températures dans le substrat (saison, cultures sous serre versus culture en plein champs)
- le substrat de culture (compactité, aération, salinité, capacité de rétention)
- la disponibilité en eau (régime d'irrigation ou de pluviométrie).

C'est pourquoi il semble difficile, même sous des conditions de sol profond et homogène, et avec une humidité uniforme, d'arriver à une classification pertinente du système racinaire de la tomate, si bien pour une culture issue de semis direct que pour une culture issue d'une transplantation. Pour une culture issue de transplantation on classifie en général le système racinaire comme l'intermédiaire entre un système pivotant et un système traçant, ce qu'on appelle aussi un système racinaire "ramifié".

* 5ème Séminaire National de formation dans le cadre du Projet National Geothermie PNUD / TUN 85/004. Souassi, 24 et 25 Mai 1989.

Zobel classe les racines individuelles en 4 types bien différents, notamment :

- la radicelle ou le pivot
- les racines adventives, qui se développent normalement sur les parties inférieures de l'hypocotyle et sur les zones supérieures de la radicelle
- les racines latérales naissant comme ramification sur les racines pivotantes.
- les racines basales régénérées par le péricycle dans la région basale de la plante (comprise entre le premier cm de l'hypocotyle et le premier cm de la radicelle)

La ramification des racines chez la tomate a plusieurs origines, notamment :

- les racines latérales de 1er ordre (racines traçantes)
- les racines adventives
- les racines basales

2. Développement et fonctionnement des racines

Au niveau du fonctionnement de la plante la longueur totale des racines est un paramètre, mais la profondeur et la largeur du système racinaire sont deux autres paramètres importants, car pour la même longueur totale la distribution dans le sol peut être très différente.

Pour la tomate la longueur totale des racines d'une plante peut atteindre au stade de son développement maximal (juste avant le début de la récolte) entre 2 et 2,5 km, alors que la longueur des racines par unité de surface de sol occupé est de l'ordre de 700 cm/cm^2 et que la longueur par unité de volume du sol exploité est de 3 à $3,5 \text{ cm/cm}^3$ en moyenne avec des pointes de 20 à 30 cm/cm^3 dans les couches superficielles.

La longueur et la largeur explorées par une plante de tomate peuvent donc être très variables, mais en règle général on admet que plus le volume de sol exploré par la plante est grande, plus qu'elle résiste aux stress hydriques. L'exploration en profondeur est un deuxième facteur de résistance aux stress d'eau. La résistance à un stress hydrique semble plus lié chez la tomate à la profondeur de l'enracinement qu'à la longueur des racines par unité de surface ou par unité de volume.

Il est non plus évident qu'un système racinaire plus développé, donc avec une longueur totale de racines plus grandes, est plus efficace qu'un système moins

développé. Il est en effet connu que les jeunes racines sont de loin les plus efficaces au niveau de l'absorption de l'eau et des minéraux et qu'il est donc important de maintenir une bonne croissance du système racinaire le plus longtemps possible.

Une plante au stade début production présente, en conditions normales, dans la zone de 0-40 cm presque la moitié de ces racines actives (voir figure 1).

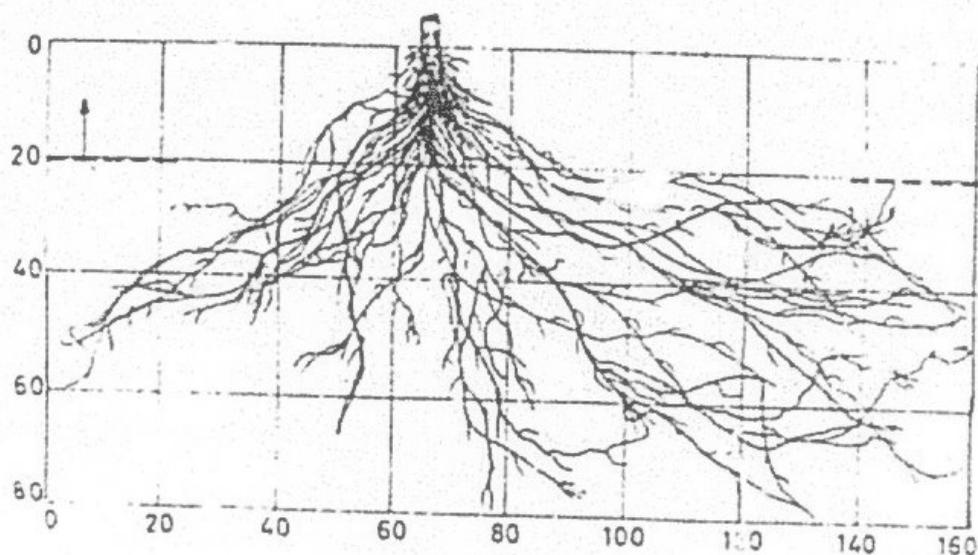


Figure 1 : Distribution des racines d'une culture répiquée

3. Influence des différents facteurs sur le système racinaire

3.1. Contexte génétique

Le système racinaire chez la tomate est très différent suivant le type de croissance de la plante. Les plantes à croissance indéterminée (gène *sp +*) ont un système racinaire beaucoup plus développé et plus profond que les plantes à croissance déterminée (gène *sp*). La longueur totale des racines est en moyenne de 25% supérieure chez les variétés à croissance indéterminée. Ceci explique le meilleur comportement des variétés à croissance indéterminée dans des conditions culturales difficiles (stress hydrique induit par excès de chaleur ou tour d'eau inadéquat).

Comparant la variété 'VF 145' (*sp*) avec la variété 'Pearson' (*sp+*) il a été constaté que 80 jours après la plantation la longueur totale des racines est à peu près égale, notamment 1150 et 1125 m respectivement. Par contre 25 jours plus tard la longueur totale sur des plantes en début de production est de 1980 m pour la variété VF 145 et de 2580 m pour la variété Pearson.

Des variabilités à l'intérieur de chaque groupe existent, car il y a plusieurs

mutants connus au niveau de l'enracinement, notamment :

- "drt" (dwarf root) : système racinaire réduit
- "brt" (bushy root) : prolifération très importante des racines adventives
- "dgt" (drageotropical root) : avec peu de racines secondaires

3.2. Les techniques culturales

Plusieurs techniques culturales ont une influence sur le développement du système racinaire de la tomate, notamment la technique d'installation de la culture (semis direct ou repiquage), la profondeur de la plantation et/ou du semis, l'utilisation du buttage, etc...

Le semis direct résulte normalement dans un système racinaire pivotant, qui se maintient jusqu'à un stade avancé dans le cycle de développement, ce qui confère à la plante un système racinaire profond du type carotte large (voir figure 2).



Figure 2 : Développement racinaire d'un semis direct (gauche) et d'un repiquage (droite)

Le développement racinaire. C'est ainsi que l'aspersan favorise des racines dissymétriques en cas d'excès d'eau, les racines évitant en effet à la fois les zones saturées et les zones avec accumulation de sel (voir figure 4).

L'utilisation de la technique de la transplantation racine nue résulte dans une cassure du pivot, ce qui engendre en même temps une perte, et dans certain cas un arrêt de la croissance durant la période qui suit la transplantation, et un système racinaire superficiel et ramifié (voir figure 2).

L'utilisation de plantes élevées en mottes permet d'éviter l'arrêt et de réduire la perte de la croissance, mais perturbe surtout l'exploration en profondeur et en largeur du substrat, car la plante doit redémarrer pour envahir le sol ou le substrat, au moment de la plantation. C'est pour cette raison que l'on conseille des mottes de dimension importante (14 cm), sinon une limitation impérative de la durée de l'élévage jusqu'au moment que les racines atteignent le bord des mottes. Actuellement on conseille surtout l'utilisation d'une motte de forme allongée, permettant le développement sans gêne du pivot, et une durée réduite de l'élévage en pépinière.

Une plantation profonde permet de favoriser le développement des racines adventives.

La technique du buttage sur une culture de tomate transplantée permet de favoriser l'émission de racines adventives et d'obtenir ainsi une accumulation de racines dans la zone située près de la surface du sol.

Un semis direct profond peut-être à l'origine de ce même phénomène et engendrer le développement de quelques racines basales et adventives. Par contre son influence sur la profondeur de l'enracinement est faible car la différence en profondeur sur lequel on peut jouer lors du semis (de 0,5 cm à 2,5 cm) est faible et représente moins d'une journée de croissance du système racinaire sous conditions normales en serre.

3.3. Etat hydrique du sol et irrigation

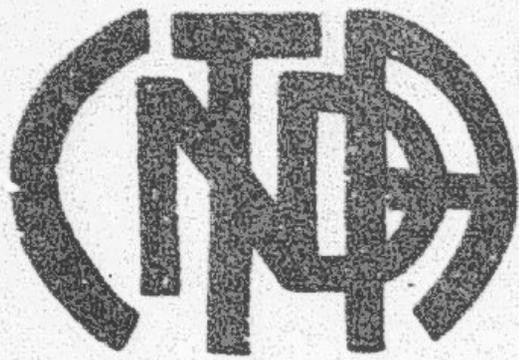
Le système d'irrigation utilisé a une influence importante sur l'humectation du sol. En culture en sec (non irrigué) on a un gradient vertical d'humidité. Ce même gradient vertical existe aussi dans des cultures irriguées par aspersion. Ce gradient vertical favorise le développement latéral des racines (exploitation en largeur) surtout si l'aspersion ou la pluviométrie maintiennent un certain degré d'humidité près de la surface du sol. Dans le cas contraire l'enracinement va plutôt en profondeur.



SUITE EN

F

2



MICROFICHE N°

07568

République Tunisienne

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F

2

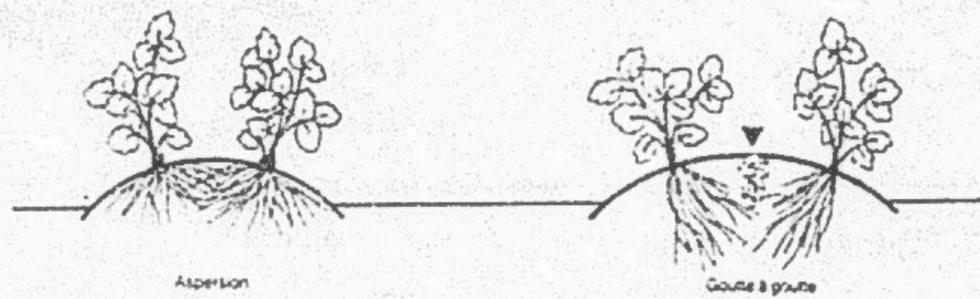


Figure 3 : Influence de l'aspersion et du goutte à goutte sur le développement racinaire

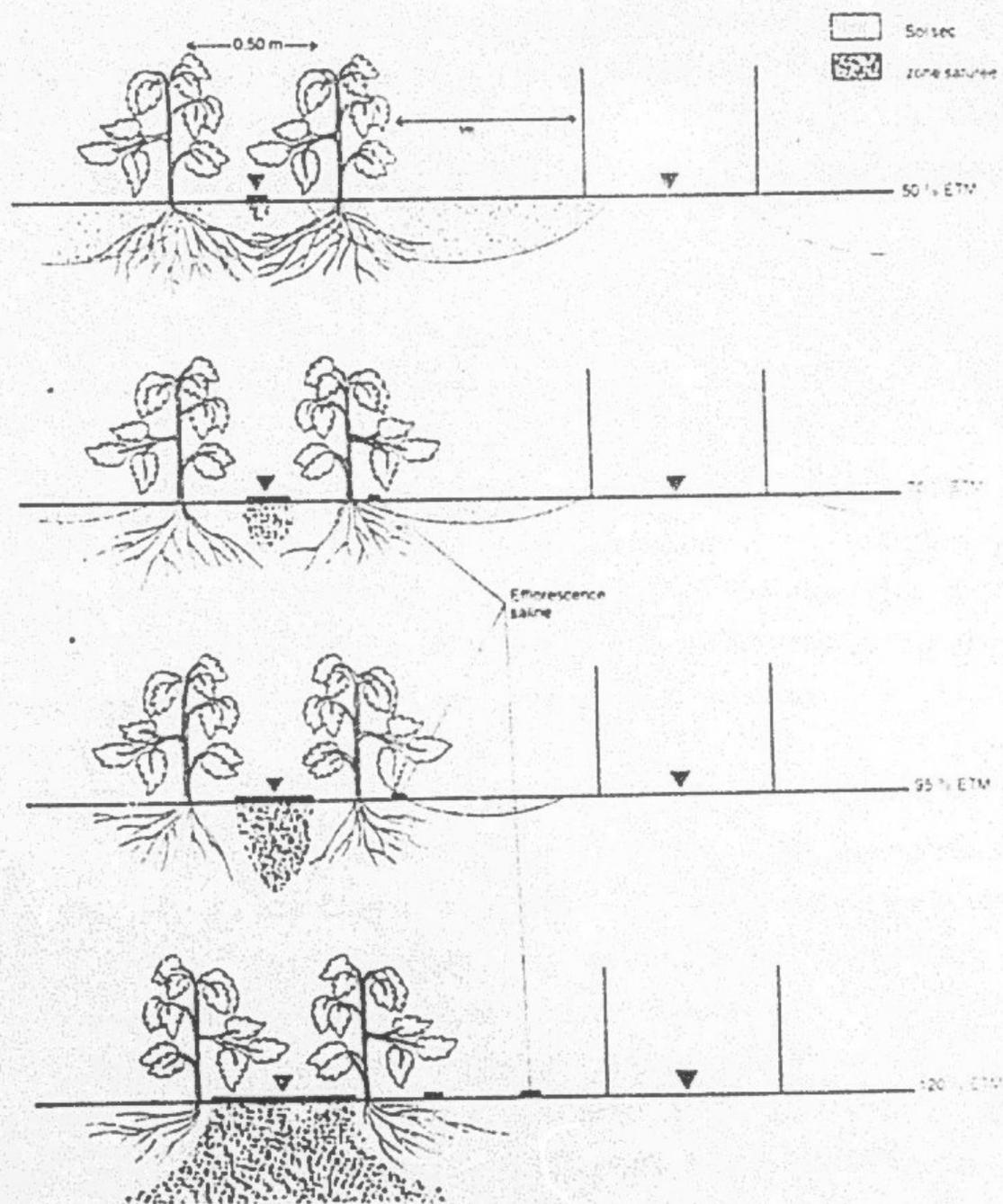


Figure 4 : Enracinement de la tomate
Sol de sable limoneux battant - débit 2 l/h - apport quotidien

Le système d'irrigation à la raie engendre un gradient horizontal et l'utilisation d'une cadence d'irrigation provoque en plus un gradient horizontal mobile. Sous ce régime on peut obtenir donc un enracinement plus profond et plus localisé. Les restrictions de développement latéral sont évidentes car des zones sèches alternent avec des zones humides et la plante évite si bien les zones trop sèches que les zones trop humides. L'enracinement vers la profondeur dépend surtout de la cadence et des doses d'irrigation, maintenant plus ou moins à un taux régulier l'hygrométrie dans la zone supérieure.

En irrigation localisée l'enracinement devient en général moins large et plus profond que par l'irrigation par aspersion (voir figure 3).

Le débit et la dose utilisée est très importante également (voir figure 4). Des doses faibles favorisent l'enracinement profond et engendrent un système racinaire important. Par contre des doses copieuses diminuent la profondeur et l'importance du système racinaire et peuvent même favoriser l'apparition de systèmes racinaires.

Les différences au niveau de la répartition de la longueur totale des racines pour une culture de tomate à croissance déterminée repiquée dans les cas de l'irrigation à la raie, de l'aspersion et du goutte à goutte sont présentées dans la figure 5). Dans ce cas favorable à la limitation des racines dans la zone superficielle on voit que l'irrigation goutte à goutte permet d'obtenir à la fois une bonne répartition près de la surface et un meilleur enracinement en profondeur.

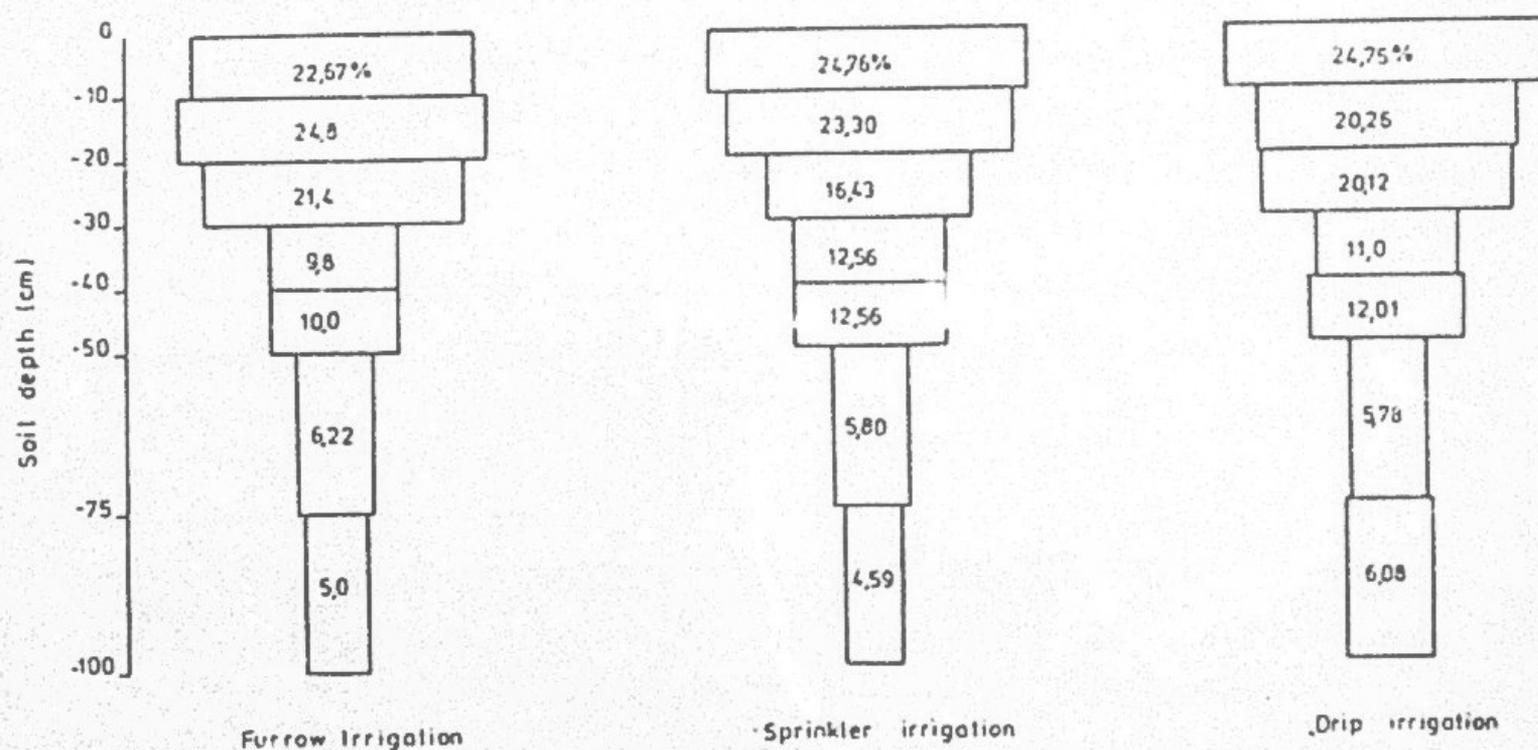


Figure 5 : Distribution en % des racines de la variété de tomate 'Ventura' 113 jours après transplantation dans un sol limoneux

En irrigation localisée la zone humectée dépend largement du débit et la durée de l'irrigation, ainsi que du type de sol (figure 6).

Dans un sol lourd on obtient relativement vite un flaquage avec des débits faibles et la zone humide est de type arrondi (navet rond ou aplati) et ceci en fonction du débit utilisé. Dans un sol léger il y a très peu de flaquage et on a un mouvement vertical prépondérant, ce qui favorise l'obtention d'une zone humide du type carotte, à peu près semblable au développement pivotant du système racinaire lors d'un semis direct. Il est important de tenir compte de tous ces phénomènes lors de la culture.

3.4. La structure du sol

Des sols lourds et compacts freinent le développement des racines en profondeur et en plus sont capables de maintenir un bon degré d'hygrométrie dans les zones superficielles du sol, favorisant l'enracinement superficiel. Des sols légers et profonds par contre favorisent le développement en profondeur du sol et engendrent aussi une zone humide sous forme de carotte (voir figure 6). Dans des sols légers la tomate peut facilement descendre jusqu'à 2 mètres de profondeur et une profondeur record a été notée de 3,66 m.

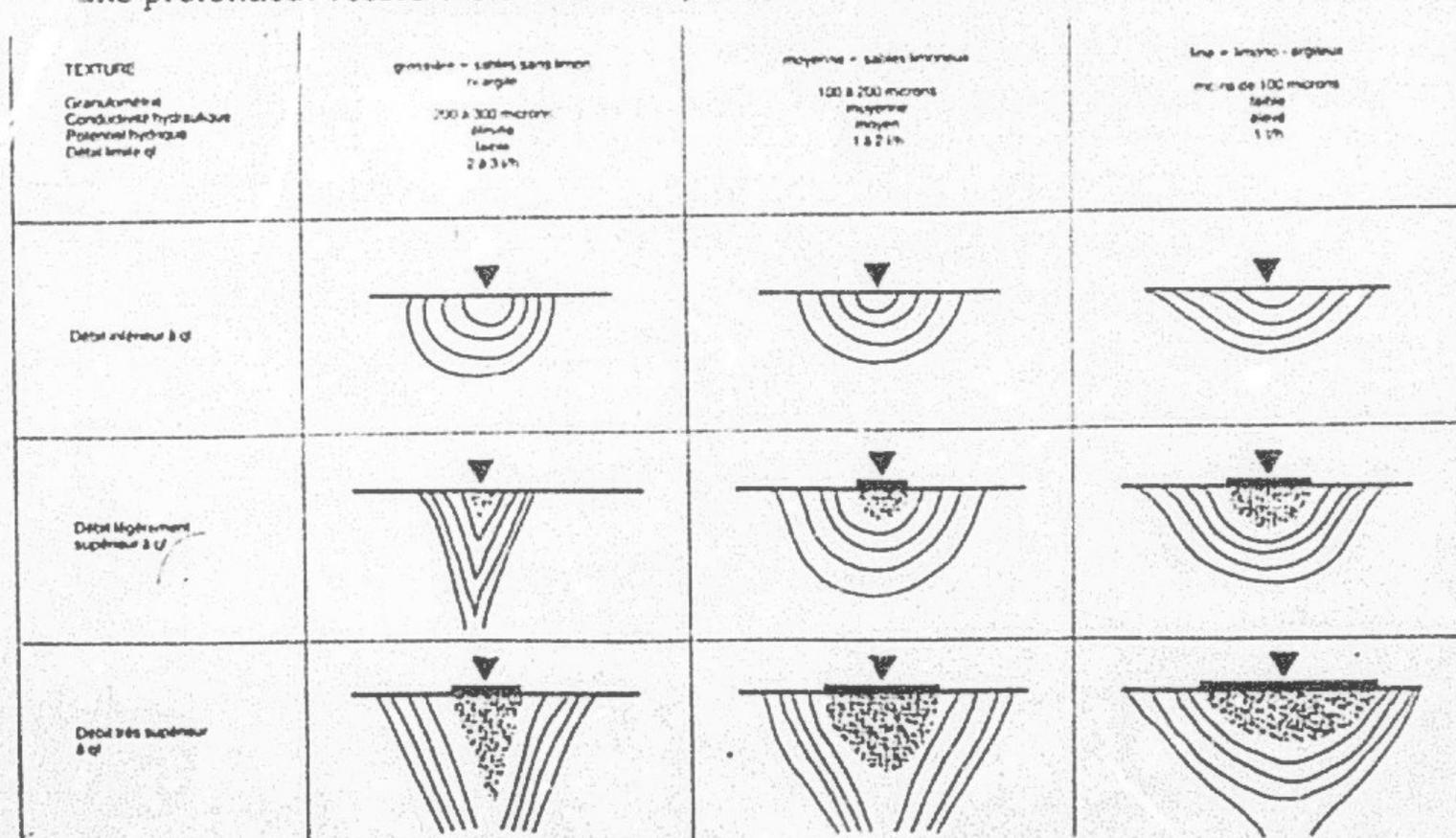


Figure 6 : Distribution de l'humidité dans le sol en fonction de la texture du sol et du débit du goutteur

Dans un sol argileux on observe une assez bonne densité des racelles jusqu'à 25 cm de profondeur, mais dans un sol sablonneux par contre on obtient une densité comparable jusqu'à même 265 cm de profondeur.

3.5. La température du substrat

La température du substrat a une grande importance sur la croissance des racines. Au printemps en plein champs et en hiver sous serre froide l'accroissement journalier des racines est de 0,7 cm, alors que pour des températures de l'ordre de 20° C l'accroissement journalier est 10 fois plus important, notamment 8,6 cm/jour. Ceci explique donc le développement important du système racinaire en sol sous serre chauffée, facilitant ainsi l'absorption minérale et la qualité de la production.

3.6. La relation entre les pousses et les racines

Chez la tomate le développement végétatif ne reflète pas toujours le développement des racines. Durant les stades jeunes de la plante il y a un développement presque indépendant des racines et des pousses aériennes, mais ultérieurement il y a une relation évidente entre les deux et on constate que la surface foliaire est liée positivement avec la longueur totale des racines.

Par contre il y a une concurrence entre le développement du système racinaire et la croissance des fruits, et ces derniers semblent prioritaire en ce qui concerne la consommation des carbohydrates. Lors du passage de la plante de la phase végétative à la phase générative on constate en effet que le développement des racines est presque arrêté et ceci surtout dès le démarrage des récoltes. La relation pousses/racines augmente donc à ce moment car il y a toujours des vieilles racines qui disparaissent. Ceci explique en outre que la différence en enracinement entre les plantes à croissance déterminée et indéterminée s'exprime à ce moment. Il est donc également évident de bien soigner l'irrigation et la fertilisation des cultures à partir de ce moment si on veut réaliser des cultures prolongées.

Une teneur élevée en azote, un niveau lumineux faible et des irrigations fréquentes augmentent le ratio pousses/racines et rendent donc la culture fragile, surtout si la plante est cultivée dans un substrat léger ou inerte (laine de roche), dès que la demande climatique devient importante. Cette relation pousses/racines présente une géométrie spatiale différente pour la tomate cultivée en serre (cultures

en lignes tuteurées) par rapport à la culture en plein champs non tuteurée avec une couverture complète du sol.

3.7. Densité du semis

Le semis direct par semences individuelles ou par semences en poquets de 3 graines ne semble pas donner des problèmes de concurrence entre les racines jusqu'au stade 4 feuilles (20-25 jours après le semis), car la longueur des racines par volume de substrat est pour la plante individuelle ($0,011 \text{ cm/cm}^3$) pas du tout différente que la longueur totale exploitée par chacun des 3 plantes du poquet (ensemble $0,36 \text{ cm/cm}^3$, soit par plante individuelle $0,12 \text{ cm/cm}^3$). Par contre au stade 7 feuilles (30-40 jours) après le semis direct les plantes individuelles présentent un meilleur enracinement des premiers 30 cm du sol, que chacune des plantes individuelles du poquet (voir figure 7).

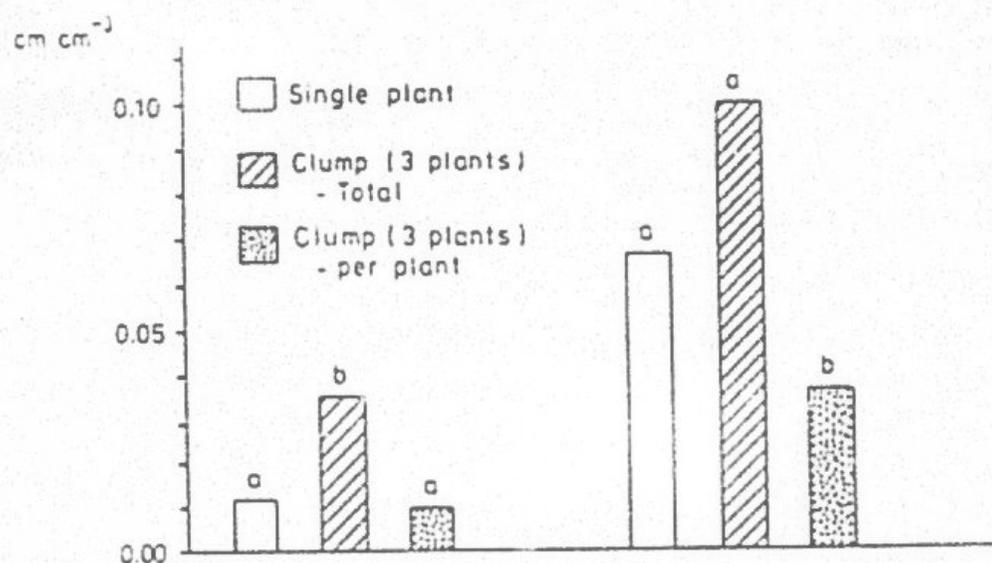


Figure 7 : Longueur des racines au stade 4 feuilles (gauche) et 7 feuilles (droite) pour des semis directs

4. Influence du semis direct sur le rendement et la précocité

Plusieurs essais menés à Chott El Ferig, Zerkine, Gafsa, El Khebeyet et à Nefza ont permis de constater l'effet favorable d'un semis direct sur la précocité d'une culture de tomate. La précocité par rapport à un repiquage semé en pépinière au même moment que le semis direct est de 3 à 4 semaines. Les semis directs de la tomate rentrent en production normalement 90 jours après le semis alors que pour les repiquages il faut normalement 120 jours.

Ceci est reflété en outre par les courbes de rendement cumulé d'une expérience conduite à Chott El Ferik, présenté en figure 8. Dans cet essai, les semis directs du début Septembre sont entrés en production après 100 jours après le semis et les repiquages après 125 jours à partir du semis en pépinière. Ces courbes de rendement reflètent même sous un cycle cultural arrêté fin janvier que les rendements pour les semis directs atteignent plus que le double de ceux des plantes repiquées. Les différences sont également très importantes entre les variétés résistantes aux nématodes (Elcy, Noria) et les variétés sensibles aux nématodes (63-5, Verone), surtout que les sols sont infestés par nématodes. Cet effet est encore amélioré par la résistance de Elcy et de Noria au *Stemphylium*, qui peut sévir dans les cultures de tomate de la région de Gabès.

Les courbes de recette cumulée présentées dans la figure 9 présentent les mêmes allures que celles du rendement cumulé et montrent que le semis direct permettait de faire gagner 600 DT en plus par serre.

5. Conséquences pratiques

Dans les sols lourds, peu profonds, et donc peu soumis au stress hydrique l'utilisation du repiquage avec comme suite logique un enracinement superficiel peut être utilisé sans contrainte. Il en est de même dans tous les sols consistants avec une bonne rétention en eau qui permettent d'obtenir en irrigation localisée un profil humide du type navet.

En condition d'utilisation de l'arrosage localisée sur sol léger profond, la zone humidifiée a un profil de carotte, ce qui suggère l'utilisation du semis direct favorisant l'enracinement pivotant. Si les conditions naturelles sont favorables au stress hydrique, la logique du choix d'un semis direct est encore renforcée.

L'utilisation des techniques à faible exploitation du volume du sol ou du substrat crée des circonstances favorables pour obtenir un ratio pousses/racines élevé et nécessite alors une extrême régularité dans la conduite de l'irrigation, de la fertilisation et de l'oxygénation.

Par contre si l'on veut que la plante atteigne une profondeur de 1 m il faut, à raison d'une croissance moyenne de 4 cm par jour, environ 25 jours. Durant cette période il faut surtout éviter d'irriguer trop copieusement et aussi limiter la

FIG 8 : PRODUCTION DE LA TIGRALE PARQUANT EN 157M - CHOT EL FERIE

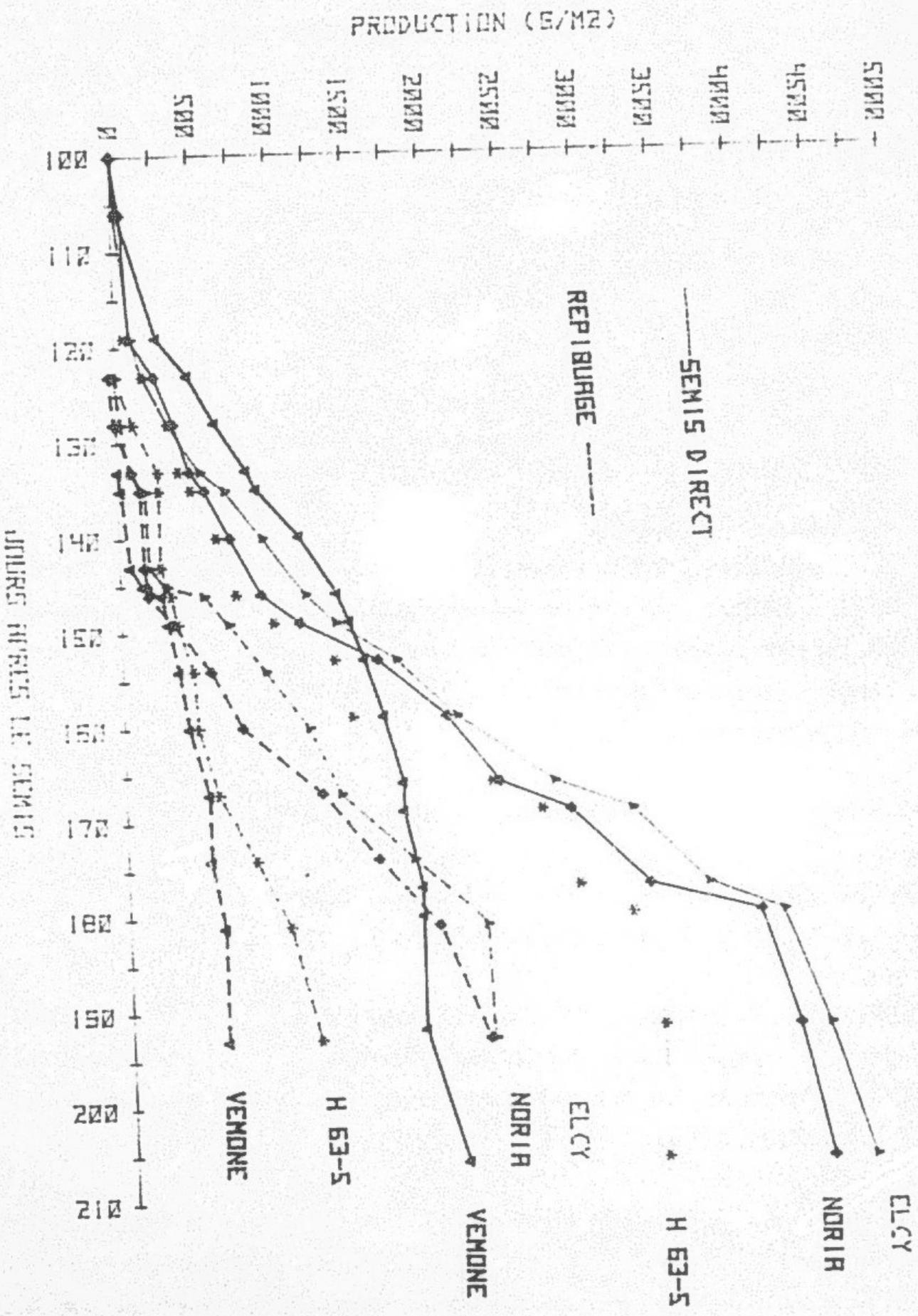
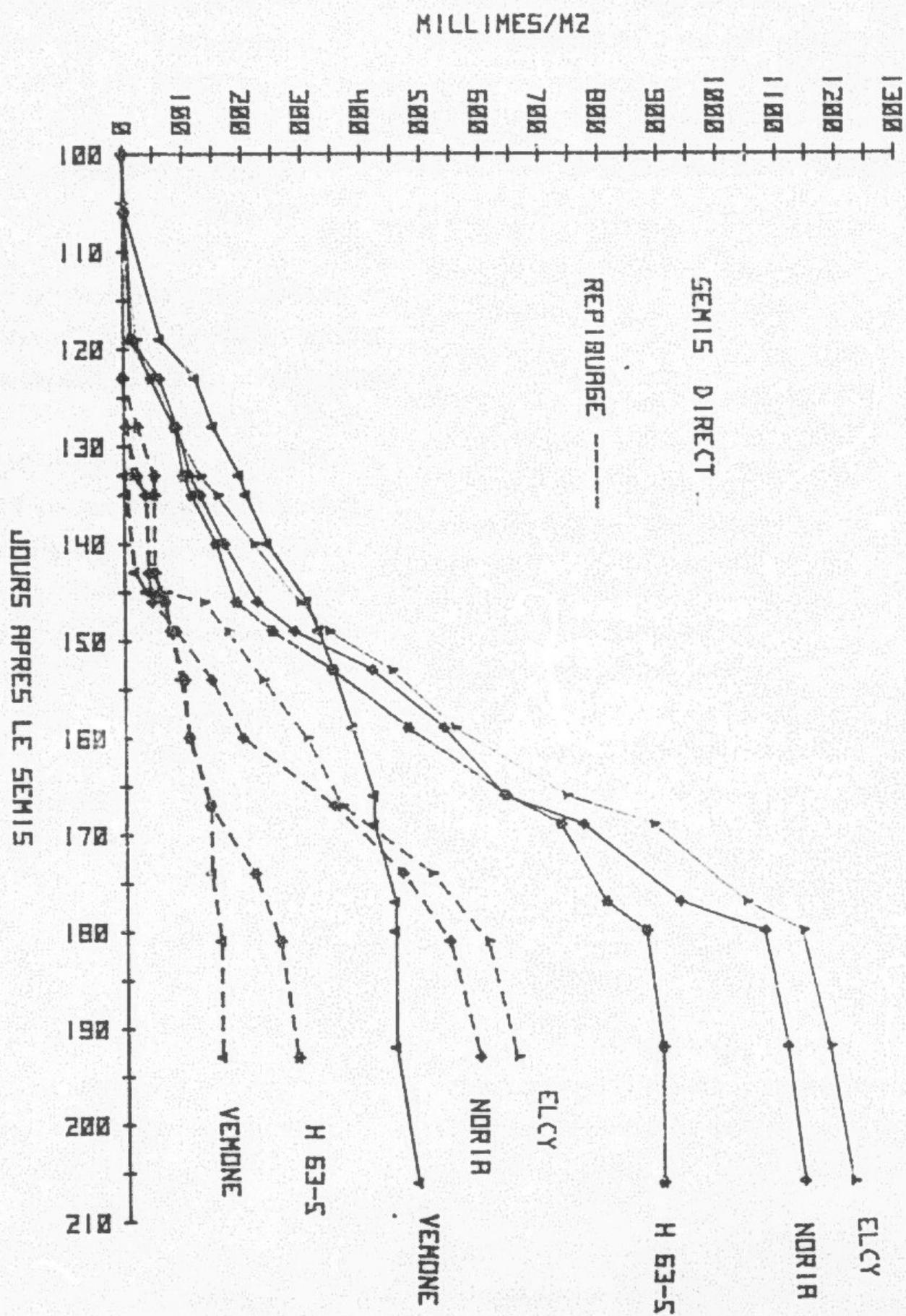


FIG 9: RECETTE BRUTE TOMATE D'ARRIERE SAISON - CHOT EL FERIG



fertilisation azotée.

Le semis direct en poquets de 2 à 3 semences ne donne pas de problèmes de compétition au niveau racinaire jusqu'au stade 4-5 feuilles, mais une réalisation de l'éclaircissage plus tardivement engendre des problèmes de compétition. Pour des problèmes d'étiollement il est conseillé de réaliser l'éclaircissage au stade 3-4 feuilles, soit environ 20 à 25 jours après le semis.

La bonne utilisation du semis direct à raison de 2 semences par poquet et son éclaircissage à temps permettent de raccourcir le cycle de la culture de la tomate en arrière saison.

L'irrigation convenable (2 fois par jour en petites quantités) permettent de réaliser une très bonne levée et d'assurer une très bonne homogénéité de la culture. Par contre les repiquages réalisées en plein été sont souvent sujet à nombre élevé de manquants.

Les rendements pour un semis direct en culture d'arrière saison sont de 8 à 10 kg/m² pour des cultures arrêtées fin janvier et cultivées à une densité de 4 plantes par m². L'utilisation de densités plus élevées 6 plantes par m² pour des plantes cultivées sur 3 ou 4 bouquets devrait garantir les mêmes résultats pour des cultures arrêtées déjà vers le 10 Janvier.

ETUDE COMPARATIVE DE LA CROISSANCE DU DEVELOPPEMENT ET DES RENDEMENTS DU MELON ET DE LA TOMATE SOUS SERRES CHAUFFEES PAR L'ENERGIE GEOTHERMALE

1. Introduction

Depuis les années 70, l'idée de réaliser une vraie culture de primeur n'a cessé de se développer. Il s'agit en effet d'assurer un décalage du calendrier de production vers les mois de Février -Mars - au lieu de Mai - Juin. Ceci est en vue de développer l'exportation de nos denrées agricoles. Plusieurs efforts ont été consentis dans cette voie et ont visé l'amélioration du bioclimat des abris afin de produire tôt, mieux et avec des coûts de production acceptables. Les résultats thermiques, agronomiques et économiques auxquels ont abouti les techniques de protection traditionnelles ont été toujours limités et insatisfaisants. L'approvisionnement énergétique afin de satisfaire les besoins thermiques des espèces cultivées sous abris s'est avéré alors indispensable.

Par ailleurs dans les contexte actuel d'énergie chère, les eaux géothermales du Continental Intercalaire (CI) constituent un gisement potentiel d'énergie gratuite ou bon marché qu'il convient d'utiliser et de maîtriser. Dans l'optique d'exploiter ces sources géothermales pour le développement des cultures de primeur destinées à l'exportation nous avons réalisé une série d'observations concernant l'incidence du chauffage par l'énergie géothermale sur la croissance, le développement et les rendements de deux espèces maraichères connues par leur besoins thermiques différents à savoir le melon et la tomate.

Ces observations ont été réalisées dans la région d'El Hamma au sein de l'exploitation "5ème Saison". Les serres chauffées sont équipées de 12 boucles de tube PP 25 annelé chacune. Dans ces boucles circule une eau à 65° C à raison de 0,3 l/s/serre, depuis le coucher du soleil jusqu'à son lever. Les semis ont été réalisées le 15-11 et le 15-12-1987 pour le melon et la tomate respectivement.

1. Vitesse de germination des graines

Le positionnement des tubes de chauffage à même le sol a engendré une température morgenne de l'air à 2 m de hauteur et à 7 heures du matin de 13° C

sous serre chauffée et de 9° C sous serre témoin. La température moyenne à même le sol a été de 22° C et 16,3° C sous l'abri chauffé et sous l'abri témoin respectivement. Ceci a entraîné le démarrage de la germination à partir du 5ème jour après le semis sous l'abri chauffé avec environ 20% des graines germées (fig. 1). La germination n'a démarré qu'au 9ème jour sous l'abri froid. Cependant la germination totale sous serre chauffée a été obtenue 8 jours après le semis. Ceci traduit une germination très rapide qui est la conséquence de l'amélioration des conditions climatiques par le chauffage notamment la température du sol.

2. Evolution de la hauteur et du nombre de feuilles par plant

2.1. La culture de tomate

Pour ces 2 paramètres, nous remarquons que la supériorité des plantes chauffées est tout à fait nette à cet égard (fig 2). La différence de hauteur entre les deux traitements augmente sans cesse. La première mesure effectuée 45 jours après le semis a révélé une différence de hauteur de 35 cm entre les plantes chauffées et les plantes témoins. Cette différence atteint un maximum de 114 cm 90 jours après le semis. Toutefois nous signalons que la dernière mesure effectuée 105 jours après le semis a mis en évidence un début de rattrapage des plantes témoins. En effet lors de ce dernier prélèvement, la différence de hauteur entre les deux traitements n'a été que de 106 cm. Ceci serait la conséquence de l'amélioration des conditions climatiques spontanées sous serre froide par l'amélioration des températures extérieures. Le ralentissement de l'élongation des plantes chauffées ayant atteint la pleine production pourrait aussi en être la cause.

Nous remarquons alors que sur une période de 105 jours, la vitesse d'élongation des plantes chauffées est d'environ 1,8 cm/j, tandis que celle des plantes témoins n'est que de 0,9 cm/j. Ce phénomène d'élongation des plantes présente un parallélisme presque parfait avec l'évolution du nombre de feuilles par plante (fig.3). Durant les 75 premiers jours après le semis, nous avons observé une apparition moyenne de 1,4 feuilles/semaine chez les plantes témoins contre 2,4 feuilles/semaine chez les plantes chauffées. En sachant que l'on a un bouquet floral toutes les 3 feuilles, on peut dire qu'entre deux bouquets s'écoulent 10 jours sous serre chauffée et 15 jours sous serre froide.

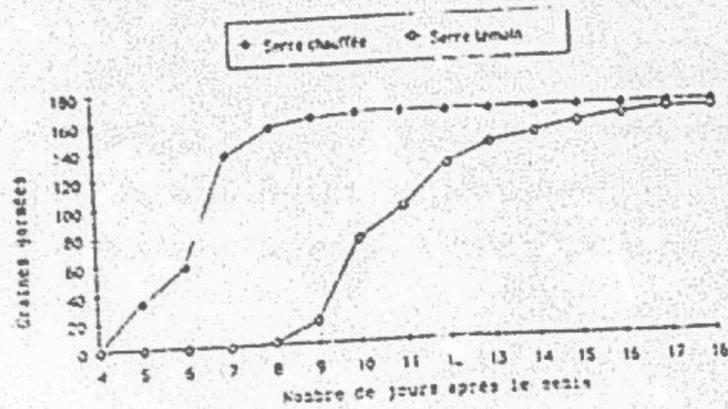


Figure 1 : Vitesse de germination des graines de tomate

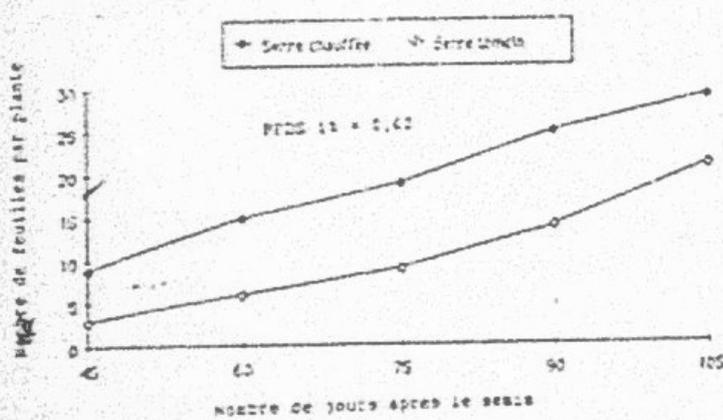


Figure 2 : Evolution du nombre de feuilles par plant de tomate

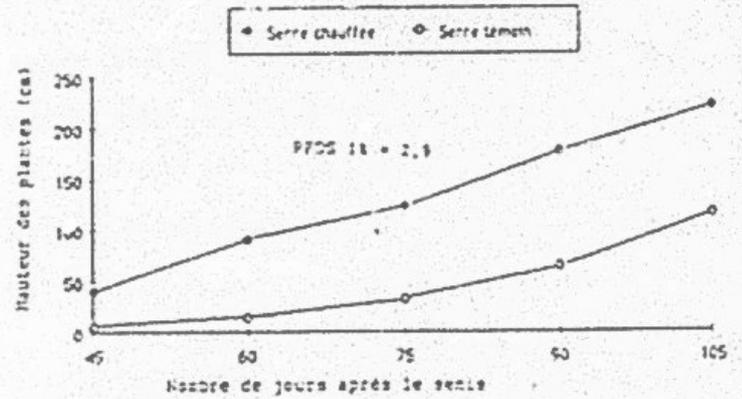


Figure 3 : Evolution de la hauteur des plants de tomate

2.2. La culture de melon

Nous avons constaté que sous serre chauffée (fig. 4), la croissance des plantes passe par deux phases : une phase de croissance active qui dure 105 jours à partir de la germination suivie d'une phase de ralentissement de l'élongation des plantes commençant juste après cette date et coïncidant avec le début de récolte ou le stade prématurité (crise respiratoire de la plante). Les plantes témoins ont montré un comportement tout à fait opposé. En effet la croissance de ces plantes durant les 105 premiers jours après la germination a été très ralentie. A cette date la différence de hauteur entre les plantes chauffées et les plantes témoins a été d'environ 180 cm. Ensuite, à partir du mois de Mars et avec l'amélioration des conditions climatiques extérieures, la croissance des plantes commence à s'améliorer. Néanmoins, la hauteur des plantes témoins 120 jours après le semis n'a pas égalé celle des plantes chauffées 75 jours après le semis.

Pour ce qui est de l'évolution du nombre de feuilles par plante, le propos que nous avons avancé pour la culture de tomate reste encore valable. Nous avons ainsi noté pour ce paramètre une supériorité de la serre chauffée par rapport à la serre témoin, l'émission des feuilles a eu la même allure que celle de l'élongation des plantes.

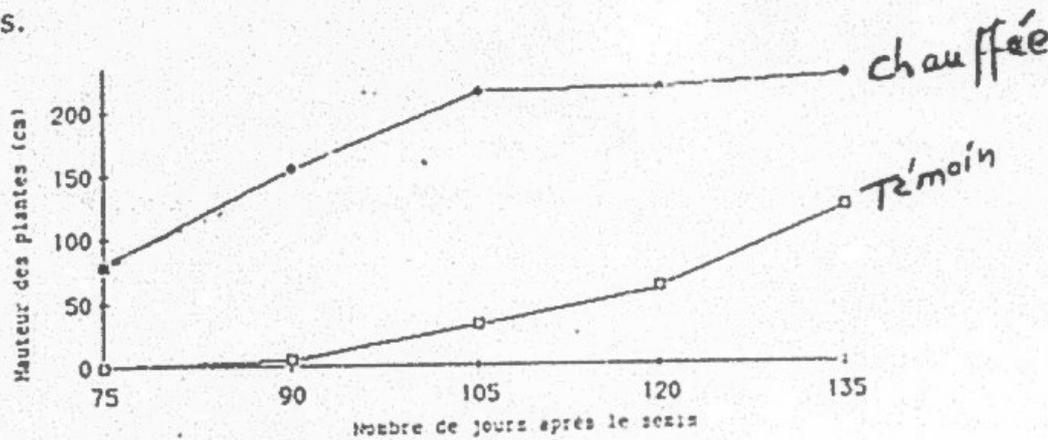


Figure 6 : Evolution de la hauteur des plants de melon

3. Diamètre et longueur du 6ème entre nœud-indice d'étiollement

Tableau 1 : Diamètre et longueur du 6ème entre nœud

et indice d'étiollement (*)

	Diamètre (mm)		Longueur (cm)		Indice d'étiollement	
	Melon	Tomate	Melon	Tomate	Melon	Tomate
Serre chauffée	6.2 a	14.4 a	8.4 a	6.8 a	13.7 a	4.85 a
Serre témoin	4.5 b	8.8 b	5.8 b	4.3 b	13 a	4.85 a

(*) : Les valeurs affectées du même indice ne sont pas statistiquement différentes entre elles

Il est bien apparent que pour les deux espèces étudiées (melon et tomate), le chauffage par l'énergie géothermale a permis d'obtenir des plantes à tiges beaucoup plus épaisses que celle des plantes témoins (Tab.1.). Nous constatons aussi que la longueur du 6ème entre-nœud pris comme référence a été accrue par le chauffage. Ceci traduit le phénomène connu du raccourcissement des entre nœuds par le froid. Pour mieux apprécier l'équilibre de croissance des plantes, nous avons opté pour la détermination de l'indice d'étiollement (longueur/diamètre). Ce rapport a montré qu'il n'y a aucune différence significative entre les plantes chauffées et les plantes

témoins. Par conséquent, le chauffage n'a pas eu d'effet étioquant. La croissance des plantes a été régulière aussi bien en longueur qu'en épaisseur.

4. Etude de la précocité

4.1. La culture de tomate

Pour cette espèce, nos observations se sont poursuivies jusqu'à la maturation du 2^{ème} bouquet. Sur la fig. 5 a, nous remarquons une précocité de la floraison du premier bouquet de l'ordre de 24 jours sous la serre chauffée par rapport à la serre témoin.

Pour le stade suivant, c.à.d. floraison-maturation du 1^{er} bouquet, nous avons observé une durée de 50 jours sous serre témoin et 58 jours sous serre chauffées. Ceci paraît de prime abord inattendu car, en général sous serre froide et en conditions hivernales, il faut 90 jours pour atteindre ce stade. Cependant il faut rappeler que le retard de croissance accusé par les plantes témoins a fait que cette phase coïncide avec l'amélioration des conditions climatiques spontanées sous serre froide notamment la température et la luminosité. Chez les plantes témoins, les fruits mal noués ont manifesté assez tôt la tendance à mûrir. Néanmoins la précocité obtenue au niveau de la floraison du premier bouquet reste valable et c'est ainsi que nous avons enregistré une précocité de la production au niveau du premier bouquet de l'ordre de 16 jours par rapport à la culture témoin.

Le cycle de croissance des plantes depuis la germination jusqu'à la maturation des fruits du premier bouquet a été de 118 jours chez les plantes chauffées. Ces constatations ont été également retrouvées au niveau du 2^{ème} bouquet (fig. 6 b). De plus nous avons remarqué une tendance à la récolte groupée chez les plantes chauffées. En effet 7 jours uniquement ont été comptés entre la maturation du premier bouquet et celle du 2^{ème} bouquet. Ceci est tout à fait normal car il a fallu 9 jours entre l'apparition du premier bouquet et celle du 2^{ème} bouquet, alors que cette durée a été presque le double chez les plantes témoins se traduisent par une durée moyenne de 12 jours entre la maturation des deux bouquets. En outre, nous signalons que jusqu'à la maturation du 2^{ème} bouquet la durée du cycle a été de 109 jours sous serre chauffée contre 130 jours sous serre froide. Ainsi, nous constatons que la précocité au niveau du 2^{ème} bouquet sous serre chauffée passe à 3 semaines alors qu'elle n'a été que de 2 semaines au niveau du premier bouquet. Cette différence s'expliquerait par le fait que les fruits bien noués du 2^{ème} bouquet des

plantes témoins grossissent et mûrissent plus lentement que ceux du premier bouquet. En effet sur ce dernier, les fruits mal noués à cause des basses températures ont manifesté une tendance à une maturation rapide contrairement à ceux du 2ème bouquet dont la nouaison a coïncidé avec l'amélioration des conditions climatiques spontanées sous serre froide.

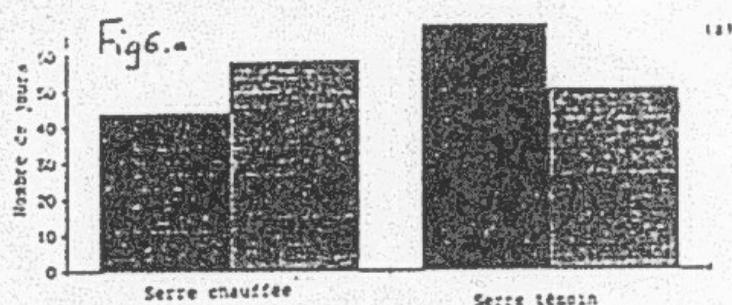


Figure 5 a :

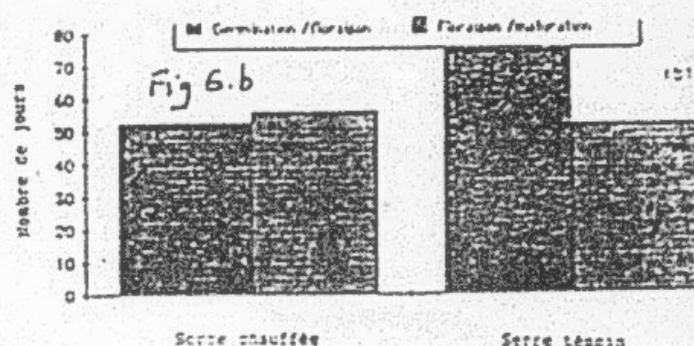


Figure : 5 b

4.2 La culture de melon

Les résultats matérialisés par la fig. 7 montre que l'apparition de la première fleur femelle a été observée après une période de 72 jours après le semis sous l'abri chauffé et 95 jours sous l'abri froid. Il importe de signaler à ce niveau la vigueur des plantes correspondant à l'apparition de la première fleur femelle. Sous l'abri témoin, les conditions de jour court et de températures basses ont été féminisantes et ont relativement "avancé" l'apparition des fleurs femelles.

Ces différences de précocité de floraison vont se maintenir jusqu'à l'apparition du premier fruit noué et même jusqu'à sa maturation. Nous avons en effet observé les premiers fruits noués respectivement 97 et 127 jours après le semis sous la serre chauffée et la serre témoin respectivement. Les premiers fruits ont été récoltés 117 et 156 jours après le semis sous l'abri chauffé et sous l'abri témoin respectivement. Ceci revient à dire que la précocité de production sous serre chauffée a été d'environ 6 semaines par rapport à la serre témoin.

Figure : 7 b

5. Rendements des cultures

5.1. La culture de tomate

Les résultats relatifs à ce paramètre sont présentés dans le tableau 2.

Tableau. 2 : Taux de nouaison et rendement de la culture de tomate

Désignations	Nouaison (%)	Rendement (kg/m ²) (*)
Serre chauffée	97	9.8
Serre témoin	65	5.6

La culture a été arrêtée vers le 15 Mai en vue de faire une culture d'arrière saison précoce

Sur ce tableau, il apparaît très net que le chauffage par l'énergie géothermale a favorisé le rendement. Nous pouvons constater presque un doublement du rendement (43%). La faiblesse du rendement sous serre témoin serait la conséquence d'un retard de croissance et surtout d'une mauvaise nouaison tant en qualité qu'en quantité ce qui a limité le grossissement des fruits et leur nombre.

5.2 La culture de melon

En se référant au tableau 3, nous pouvons constater une supériorité de rendement de la serre chauffée d'environ 36% ceci s'expliquerait par un nombre plus élevé de fruits par plante et aussi par un calibre plus important des fruits.

Tableau. 3 : Composantes du rendement de la culture de melon

Désignations	Poids moyen. du 1er fruit (g)	Nbre de fruits par plante	Rendement (kg/m ²)
Serre chauffée	400	4.5	4.4
Serre témoin	230	2.8	2.8

LA TAILLE DU MELON EN CULTURE SOUS SERRE CHAUFFÉE

1. Introduction

Différents systèmes de taille sont généralement utilisés sur le melon aussi bien pour les plantes palissées que celles conduites à plat. Cependant, il a été remarqué que des facteurs comme la densité de plantation, la variété, la culture en serre chauffée ou froide peuvent interférer avec les systèmes de taille. Par ailleurs, il est largement répandu que les melons conduits à plat sont plus précoces que les melons palissés. Par contre ces derniers sont plus productifs et donnent une production de meilleure qualité. En effet, les agriculteurs sont intéressés par la précocité, la qualité et par les hauts rendements, mais ils sont encore plus intéressés par la réduction des frais dus aux opérations de taille et de tuteurage. Ainsi jusqu'à maintenant aucune réponse claire n'a été donnée aux agriculteurs pour la conduite de la taille du melon en primeur ou en arrière saison.

2. Matériel et méthode :

L'expérience a été conduite sous serre plastique couverte avec un film de polyéthylène longue durée (180 μ) et l'essai a été réalisé selon un dispositif à trois facteurs croisés sans répétition. Les trois facteurs sont en l'occurrence : les variétés, les densités et les modes de tailles.

Quatre densités ont été essayées à savoir 1.25 , 1.5 , 1.75 et 2 plantes/m². Les variétés étaient aussi au nombre de 4 : Alpha, Orlinabel, Doublon et Ariana 72.

Les systèmes de tailles utilisés ont été les suivants :

- 02 : - la tige principale n'est pas taillée alors que les bras (branches primaires) sont taillés systématiquement après 2 feuilles.
- 102 : - la tige principale est taillée après la première feuille, les bras ne sont pas taillés et les branches secondaires sont taillées après deux feuilles.
- 202 : - ce système est le même que le précédent, mais la tige principale est taillée après 2 feuilles.
- 4/202/243 : - ce mode combiné deux systèmes de taille et deux modes de conduite. Ainsi, la tige principale est taillée après 4 feuilles, deux des 4 branches primaires développées sont tuteurées et taillées selon le mode 202 et les deux autres

sont conduits à plats et taillés selon le mode 243, c'est à dire que les 2 branches primaires sont taillées après 4 feuilles et les branches secondaires après 3 feuilles.

Trois semences ont été semées par pot le 20 decembre et la plantation a été exécutée le 26 janvier. La serre était paillée avec du plastique noir. La fumure utilisée dans cet essai comprenait 60 T/ha de fumier bien décomposé, 250 kg de N/ha, 100 kg/ha P_2O_5 et 300 kg/ha de K_2O . L'azote et la potasse ont été donnés en plusieurs fois. Des traitements preventifs aux Benomyl et au manèbe été faits pour lutter contre l'oidum, le Botrytis et l'antracnose.

Le nombre de fleurs femelles et leur distribution a été inventorié trente jours après la plantation. La récolte obtenue avant le 18 juin a été considérée comme récolte précoce alors que la production atteinte le 30 juin a été considérée comme récolte totale.

3. Résultats

3.1. Nombre et distribution des fleurs femelles

L'influence variétale sur le nombre de fleurs femelles est mise en évidence par l'apparition des fleurs femelles sur les branches primaires de la variété Alpha, ce qui montre que cette variété devrait être plus précoce que les autres variétés. Par ailleurs, le nombre de fleurs femelles apparu à la tige principale n'est pas statistiquement significatif. Quand au nombre total des fleurs femelles c'est encore la variété Alpha qui présente le nombre de fleurs femelles le plus élevé avec 6.8 fleurs contre une fleur pour les autres variétés.

Le tableau n° 2 montre l'influence des différents systèmes de taille sur le nombre total des fleurs femelles. Le système combiné a permis d'avoir le plus grand nombre de fleurs femelles (3,2 fleurs), mais la différence n'est pas significative avec le système 202 (3 fleurs). Il apparait aussi que les plantes cultivées en monotige présentaient le nombre de fleurs le plus faible. Avec le mode 02 les fleurs femelles sont généralement induites au niveau des branches primaires débutant à un certain niveau, alors qu'avec le système 102 les fleurs femelles apparaissaient dans les branches secondaires. Cependant la taille 02 permettait d'avoir des fleurs femelles plus précoce.

3.2. Récolte précoce

L'effet des différents systèmes de taille sur le rendement précoce est présenté dans le tableau n° 3. La première remarque à faire est que les différents systèmes de taille n'entraînent pas de différence significative au niveau du poids moyen des fruits. Cependant le mode 102 qui a entraîné le nombre de fruits précoce le plus faible a permis aussi d'obtenir les fruits de plus grand calibre. Par ailleurs le nombre de fruits/m² a été influencé par le mode de taille. Le système combiné (4/202/243) a permis d'avoir le plus grand nombre de fruits (3,1 fruits/m²) et ceci confirme l'avantage en nombre de fleurs femelles observé plus haut.

Le rendement précoce est obtenu essentiellement sur les bras conduits à plant (243). Cependant le nombre élevé de fleurs femelles observées avec le mode 202 n'a pas entraîné un grand nombre de fruits précoces. Cette situation peut être expliquée par l'effet de la taille sur la vigueur et la compétition entre la croissance générative et la croissance végétative. En fait il semble que les plantes non étêtées (02) entraînent un retard dans l'apparition de la floraison femelle (un faible nombre total de fleurs femelles) permettant un bon rendement précoce. Les systèmes 102 et 202 ont entraîné un faible nombre de fruits précoces. Même s'il n'y a pas de différence significative dans le rendement précoce entre les différents modes de taille, cependant le mode 02 et le système combiné (4/202/243) donnaient les rendements précoce les plus élevés (19,3 et 18,7 t/ha respectivement). Pour le premier mode de taille les fruits formés au niveau de la tige principale et des branches primaires permettent un bon rendement précoce.

Par ailleurs, l'utilisation du système combiné a permis d'obtenir la production précoce sur les branches conduites à plat et taillées selon le système 243. Les résultats présentés dans le tableau 4 permettent de constater encore une fois que c'est la variété 'Alpha' qui a donné les fruits les plus gros et le plus grand nombre de fruits précoces par m² ainsi que le meilleur rendement. La variété Tunisienne 'Arianna 72' présentait aussi une bonne performance. Il est clair aussi d'après les résultats présentés dans le tableau n° 5 que la densité de 2 plants/m² permettait d'avoir les rendements précoces les plus élevés, le nombre de fruits précoce le plus haut et le poids moyen par fruit le plus faible. La faible densité a entraîné un petit nombre de fruits mais ceux-ci sont à gros calibre. La combinaison des modes de taille 02 ou 4/202/243 avec une densité élevée a permis d'obtenir plus que 5 kg/m² en récolte précoce avec la variété 'Alpha'.

3.3. Rendement total

Les résultats concernant le rendement total représentés dans les tableaux 6, 7 et 8 confirment les résultats obtenus en rendement précoce. L'effet des systèmes de taille est assez clair. Les plantes conduites en monotige (02 et 102) donnent un faible nombre total de gros fruits. La corrélation entre le poids moyen des fruits et leur nombre par plante semble être le poids moyen des fruits et leur nombre par plante semble être négative. Les plantes conduites sur 2 tiges palissées ont produit 1.5 à 2 fruits de plus par m^2 que les plantes conduites en monotige. Ceci semble indiquer que les plantes en monotige devraient être plantées à densité élevée. Le nombre total de fruits par m^2 était significativement plus élevé avec le système de taille combiné (4/202/243) et ceci permet d'expliquer le rendement total élevé ($4.97 \text{ kg}/m^2$) en comparaison avec les systèmes de taille en monotige (3.9 à $4 \text{ kg}/m^2$). La comparaison des systèmes 4/202/243 et 202 montre qu'au moins 1 fruit précoce en plus est obtenu sur les branches conduites à plat et cet avantage est maintenu jusqu'à la fin de la culture, ce qui explique les $0.6 \text{ kg}/m^2$ obtenu en plus.

Les variétés Alpha et Orlinabel donnaient significativement les plus gros fruits avec respectivement 724 g et 765 g et les plus haut rendement respectivement 4.63 et $4.71 \text{ kg}/m^2$. Le nombre de fruit était statistiquement similaire pour toutes les variétés mais Ariana 72 produisait le plus grand nombre de fruit à petit calibre. Pour le rendement total Orlinabel donnait les meilleurs résultats. Le plus mauvais rendement a été obtenu avec Doublon. Alpha semble mieux adapté pour combiner la précocité et le haut rendement total.

La comparaison des différentes densités (tableau 8) permet de constater que la densité élevée ($2 \text{ pl}/m^2$) a entraîné les rendements les plus élevés ($5.23 \text{ kg}/m^2$) et le plus grand nombre de fruit au m^2 . Plus la densité est faible, plus le rendement en nombre et poids des fruits est faible. Les faibles densités engendrent aussi les fruits les plus gros.

4. Discussion et conclusions

De prime abord, nous remarquons que le melon monoïque (Alpha) produit des fleurs femelles en position basse sur la plante, essentiellement sur les branches primaires et secondaires mais aussi sur l'axe principal. Par ailleurs, les fleurs femelles chez les variétés andromonoïques apparaissent plus tard, les systèmes de

taille ne semblent pas avoir un grand effet sur la précocité, l'effet des variétés et des densités est plus significatif. Il est aussi évident que l'étêtage de l'axe principal n'est pas indispensable pour obtenir des fruits précoces parce que la meilleure précocité a été obtenue avec un seul système où l'étêtage n'a pas eu lieu (02). Le faible rendement sur les monotiges nécessite une densité élevée qui pourrait atteindre 2.5 à 3 plants/m². Cette technique permettra d'obtenir des fruits sur des plantes mieux développées et plus vigoureuses engendrant une meilleure fructification et croissance. Comme la culture de primeur se développe en journée croissante et les fleurs femelles apparaissent tardivement sur les plantes, la taille de la tige principale peut faciliter l'apparition des fleurs femelles, mais ceci semble ne pas être indispensable comme cela a été montré avec le système de taille 02. Par ailleurs, en culture d'arrière saison les fleurs femelles apparaissent précocement (les jours courts induisent la formation précoce de fleurs femelles) et ainsi l'étêtage de la tige principale est superflue parce que ceci favorisera l'apparition de fleurs femelles sur des plantes assez peu vigoureuses, ce qui nécessitera l'enlèvement de ces fleurs femelles. L'utilisation de plantes non étêtées permettra dans ce cas de retarder l'apparition des fleurs femelles en ébourgeonnant les 5 à 6 premières branches primaires pour obtenir des plantes assez vigoureux permettant de porter plusieurs fruits sur une assez courte période.

LA QUALITE DE LA TOMATE POUR L'EXPORTATION *

1. Introduction

Une tomate de qualité doit être saine, propre, entière, ni farineuse, ni creuse, dépourvu d'odeur et de saveur étrangère, résistante au transport (au départ), ferme (à l'achat), de calibre souhaitée, de bonne coloration, de bonne qualité intérieure et de bonne forme. La récolte avec calice (pédoncule) augmente encore l'aspect qualitatif de présentation et de fraîcheur et donne ainsi droit à des meilleurs prix.

Dans cette description nous avons la qualité visuelle, la qualité intérieure et la qualité au niveau du négociant. La qualité visuelle englobe les aspects suivants : produit sain, propre, entier et ferme, de bonne coloration, de bon calibre et de forme correcte. La qualité intérieure comporte les aspects suivants : fruit non creux, et bonne coloration intérieure. La qualité au niveau du négociant se situe au niveau de la présentation (l'emballage et le calibrage) et de la qualité visuelle.

2. La qualité visuelle

2.1. Produit sain

L'aspect sain des fruits de tomate comporte deux aspects, notamment l'exemption de tâches visuelles de maladies et des teneurs en résidus des pesticides en dessous des seuils tolérés (de toute façon les plus faibles que possible).

Les fruits peuvent présenter des symptômes plus ou moins marqués des maladies suivantes :

- pourritures brunes en anneau sur le fruit provoqués par le mildiou terrestre (*Phytophthora nicotianae* var. *parasitica*)
- tâches brunes marbrées à surface bosselée, diffusant en profondeur par les mildious (*Phytophthora infestans* ou *Ph. nicotianae* var. *parasitica*)
- tâches fantômes ou anneaux translucides à blancs pouvant disparaître (*Botrytis cinerea*)
- pourriture molle au niveau du pédoncule (*Botrytis cinerea*)

* 3ème Séminaire National de formation dans le cadre du Projet Coopération PNUD / TUN 85/004 Kébili 28 Février 1 Mars 1989.

- tâches noires bien délimitées, déprimées, souvent à côté des pédoncules (*Alternaria dauci* sp. *solani*, *A. tenuis*, *A. tenuissima*)
- tâches déprimées avec petites nécroses au centre par l'antracnose (*Colletotrichum coccodes*)
- Pustules liègeuses de 4-5 mm à aspect huileux par la gale bactérienne (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*)
- la moucheture des fruits présentant des tâches brunes de 1 mm (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*).
- pigmentation des fruits par le stolbur
- marbrure des fruits par virus y de la pomme de terre et par TMV
- tâches en oeil d'oiseau par *Corynebacterium michiganense*

La teneur en résidus doit être en dessous du seuil de tolérance. Ce seuil est différent suivant les pays. Dans le tableau ci-dessous on présente les normes appliquées pour la tomate (en ppm) dans certains pays pour quelques fongicides et insecticides.

Produit	France	Allemagne	Pays Bas	Belgique	Suisse
cuivre	-		20	20	15
mancozèbe	-	3.5	3.5	3	3
manèbe	-	3.5	3.5	3	3
zinèbe	-	3.6	3.6	3	3
captafol	-	5	3	-	0
dichlorvos	-	0.1	0.1	0.1	0.3
mevinphos	-	0.1	0.1	0.1	0.25
diemethoate	1.5	1.5	0.6	0.6	0.5
phosalone	-	0.02	1	1	2

2.2. Produit propre

Les produits doivent être exempts de poussière et de tâches de produits de traitements. Pour améliorer l'aspect qualitatif à ce niveau on doit prendre en considération les aspects suivants :

- le lavage et/ou le brossage lors du conditionnement permettent d'enlever la poussière et de descendre en dessous des seuils admis pour la plupart des produits fongicides non systémiques. Le brossage cause néanmoins l'enlèvement d'un certain nombre de pédoncules.

LA QUALITE DU MELON POUR L'EXPORTATION *

1. Introduction

Au niveau de la qualité du melon on peut considérer trois aspects différents, notamment la qualité commerciale, la qualité visuelle intérieure et la qualité gustative.

2. Qualité commerciale

La qualité commerciale du melon comprend son aspect extérieur, la présentation et le conditionnement.

2.1. Aspect extérieur

L'aspect extérieur est défini par le type de produit, la forme, la présentation et le calibre. Les types de produits appréciés au niveau du marché international du melon diffèrent selon les pays ou les régions :

- le cantaloup charentais (surtout en France, mais également au Benelux)
- le cantaloup charentais brodé (commence à percer sur les marchés internationaux, mais a longtemps souffert sur le marché français)
- le melon sucrin à chair blanche du type canari (jaune) ou du type Olive ou Tendral (vert à vert foncé) : surtout en zone méditerranéenne
- le melon ananas à chair blanche (surtout en Hollande, mais aussi en Méditerranée)
- le melon du type Ogen à chair blanche (surtout en Hollande)
- le melon du type Galia à chair blanche (En Espagne, en Hollande et en générique dans les pays Nord-Ouest)

Pour la Tunisie, où les types variétaux les plus cultivés sont les cantaloup charentais et les cantaloup charentais brodés, il y a intérêt à tester le type Galia, qui tend à être actuellement le melon dominant sur le marché international.

Le calibre recherché est soit du type Porto (450 à 550 g) pour des demi-melons, soit du type 700 - 800 g pour 1/4 ou 3/12 de melon. Des calibres supérieurs à 900 g ne sont pas trop recherchés en période de primeur pour le moment, mais cette

* 4ème Séminaire National de Formation dans le cadre du Projet Geothermis PNDU / TUN 85/004 Tczeur, 4 et 5 Avril 1989.

teendance pourrait changer.

En primeur les formes arrondies ou légèrement allongées sont préférées par rapport à la forme plus aplatie du cantaloup classique et la forme allongée des melon brodés, ananas et sucrons.

La présentation des melons de primeurs destinées à l'exportation nécessite la récolte avec pédoncule ; la longueur de ce pédoncule doit être de 1 à 3 cm suivant les marchés. Ceci nécessite une récolte à un moment bien défini de la maturité, sinon le pédoncule se détache trop facilement durant les manipulations.

2.2. Absence de défauts de présentation

Les défauts de présentation les plus importants sont les défauts visuels et la présence de symptômes de maladies. Les défauts visuels suivants sont à éviter :

- éclatement, surtout du côté pistillaire, mais aussi du côté pédonculaire ; le côté pistillaire est néanmoins le plus susceptible à ce niveau
- ramollissement important du fruit : ce ramollissement commence du côté pistillaire
- fruits doubles à partir de fleurs doubles
- fruits avec excroissances pistillaires (ou cul de singe)
- présence de broderies sur melons cantaloups charentais lisse
- présence de crevasses prononcées à l'exclusion du côté pédonculaire
- fruits avec attaches pistillaires très larges, favorisant le *Tricothecium roseum* et le *Botrytis cinerea*.

La présence sur les fruits de certains symptômes visibles de certaines maladies est à éviter :

- tâches creuses avec un duvet gris et des nécroses en bordures provoquées par *Cladosporium cucumerinum* (nuie grise)
- pourriture stylaire provoquée par *Tricothecium roseum* ou *Botrytis cinerea*
- tâches vertes qui se croisent dans la chair avec présence de spores roses à oranges provoquées par *Colletotrichum lagenarium* (nuie rouge).

2.3. Conditionnement

Après le triage sur la qualité visuelle et la teneur en sucre, le calibrage se fait

sur poids ou sur calibre. Le calibrage sur le poids en utilisant des pesées ne permet pas une harmonisation parfaite car les densités sont parfois très différentes. Le calibrage sur diamètre par des calibreurs à bandes divergentes peut poser des problèmes pour les melons pas parfaitement ronds, vu l'influence que peut avoir alors la position du fruit sur la calibreuse.

L'unité d'emballage est soit la caisse en bois de 57 x 34 cm ou le plateau en carton de 60 x 40 cm. Dans les deux cas il y a des bords rehaussés de 12 à 15 cm. Suivant le calibre des fruits on peut ainsi disposer 21, 18, 16, 15, 14, 12, 11 et 9 fruits. Des alvéoles à 6 et 8 fruits pour des melons de calibre très grand sont parfois utilisés.

La tendance est néanmoins à un carton plus petit (40 ou 45 x 30 cm)

Le conditionnement dit "intérieur" vise à mieux protéger les fruits. A cette fin les fruits sont normalement placés sur un lit de vrillons de bois sur lequel on a posé un papier "dessous de melon". La tendance actuelle est néanmoins d'utiliser des alvéoles d'un fond plastique.

Un macaron d'identification avec la marque commerciale ou le label régional est collé de préférence sur chaque melon.

3. Aspects de qualité intérieure visuelle

Deux aspects sont très importants notamment la couleur de la chair et la dimension de la cavité centrale. Un autre critère de plus en plus important est l'absence de fermentation précoce du fruit.

La couleur de la chair doit être conforme à la couleur normale pour la variété. Pour le cantaloup la chair doit être bien orange, et ne pas être trop pâle ; elle ne doit pas aussi virer vers le rouge.

Pour le type Galia la chair doit être blanchâtre avec un faible teint de vert, un excès de coloration verte est jugé indésirable. La couleur verte de la chair du côté de la peau doit être réduite au minimum, et si possible avoir disparu complètement.

La chair entourant la cavité centrale ne doit pas présenter des signes de fermentation, ce qui change à la fois l'aspect visuel et le goût du fruit.

La cavité centrale doit être la plus réduite que possible pour toutes les variétés et surtout être bien pleine particulièrement pour les cantaloups charentais et les cantaloups brodés. Pour les types Galia et Ogen on préfère également des cavités

centrales pleine et réduites. Par contre pour les autres types comme le melon Ananas ou les melons d'hiver (Jaune Canaria, Boule d'Or, Valencia Tardio, Tendral, etc...) il n'y a pas cette exigence.

La fermentation à l'intérieure du fruit donnant un aspect vitreux au fruit commence surtout à partir de la cavité centrale. Ce phénomène apparaît naturellement après une conservation prolongée de fruit, mais son apparition précoce est surtout lié à une récolte trop tardive d'un fruit destiné à être consommé plusieurs jours après sa récolte. La conduite culturale et de la fertilisation pourrait avoir une influence, car une carence en la semble surtout à l'origine de ce phénomène.

4. La qualité gustative

La qualité gustative du melon englobe plusieurs aspects, notamment : la texture, la saveur et l'arôme, la succulence, la teneur en sucres, l'acidité et la relation teneur en sucre/acidité.

En matière de texture on distingue essentiellement trois qualités au niveau de la chair : croquant, fondant (moux et fibreux) et féculent. La chair féculente est à éviter, les deux autres cas sont admissible, mais la tendance actuelle semble aller vers la chair croquante. Les variétés de melon Pancha et Romeo sont à chair ferme croquante, alors que la plupart des cantaloups comme Cantor et Alpha sont à chair fondante ; le caractère fondant est très prononcé chez Doublon et Savor.

La saveur et l'arôme sont liés surtout à la variété. C'est ainsi que l'on classe les melons de ce point de vue en plusieurs types, notamment :

- melon sans parfum : Olive, Ananas
- melon avec parfum de Ogen : Galia, Ogen
- melon avec parfum de cantaloup : dans ce type il y a trois classes, notamment :
 - normal : Charentais
 - fort ou musqué : Savor, Cantaloup de Pierre Bénite
 - trop mûr (fermentant rapidement) : Cantaloup de Bellegarde, Petit gris de Rennes

La succulence du melon est surtout liée à la présence d'un jus plus ou moins abondant. Les melons du type sucrin, ainsi que les type Ogen et Galia, sont très

connus pour leur succulence. La succulence des melons cantaloups charentais et les cantaloups brodés est surtout lié au stade optimal de la récolte et de la consommation.

La teneur en sucre et l'acidité sont très importantes au niveau de la qualité gustative. La bonne qualité semble liée à une acidité faible et une teneur élevée en sucre. Le meilleur jugement se fait sur la base de la relation teneur en sucre/acidité. Cette relation doit être élevée. Pour des raisons pratiques on se contente souvent au seul critère teneur en sucre. A ce niveau on applique l'échelle de jugement suivante:

- moins que 8% : très mauvais
- 8 - 10% : mauvais
- 10 - 12% : passable
- 12 - 14% : bon
- plus que 14% : très bon

A partir de 12% de teneur en sucres la qualité gustative est fortement influencée par la saveur, l'arôme, la texture et la succulence, ce qui rend très difficile la classification (un melon de 13% avec un très bon arôme, une très bonne saveur et une bonne succulence, peut ainsi apparaître de meilleure qualité gustative qu'un melon avec 15% de teneur en sucre mais d'arôme, de succulence et de saveur plus faible par suite d'une récolte trop anticipée). En dessous de 12% l'expression de ces composants de la qualité gustative est beaucoup moins importante, le manque de sucres ne permettant pas de les mettre en relief.

Le marché recherche actuellement surtout une homogénéité et une stabilité de la qualité. Cette stabilité est par exemple plus importante chez les cantaloups brodés et chez le type Galia que chez les cantaloups charentais, où on constate beaucoup plus de fluctuations en fonction du climat et de la conduite culturale. Ceci explique d'ailleurs le succès de Pancha et Super Sprint en Tunisie et de Galia sur le marché international.

Une autre qualité recherchée est l'évolution lente du fruit récolté, permettant de conserver le fruit convenablement durant au moins une semaine. A ce point les cantaloups brodés et surtout le type Galia sont beaucoup plus intéressants que les charentais classiques.

5. La qualité des fruits

Le stade optimal pour la récolte se situe quand le fruit a atteint une bonne teneur en sucre avec une bonne texture de la chair. Ceci s'obtient en général au moment où la teneur en substances solubles (mesurable sous forme d'indice réfractométrique) et la teneur en saccharose atteignent des valeurs élevées et quand la teneur en amidons dans les graines diminue. À part la mesure de l'indice réfractométrique, les deux autres critères sont difficiles à réaliser.

La mesure de la teneur en matières solubles selon la méthode de Brix avec un réfractomètre peut se faire de plusieurs façons, notamment destructives ou non destructives.

Les méthodes destructives sont manuelles et 3 méthodes sont utilisées :

- prise ponctuelle après avoir coupé le melon : le plus souvent on prend une ponction sur la chair entre l'écorce et les semences et entre le pédoncule et le côté pistillaire. On essaie d'échantillonner au milieu entre les 4 points indiqués.
- prélèvement d'une carotte de 4 mm d'épaisseur à la gouge selon le même principe que le 1er cas et en analysant le milieu de carotte.
- malaxage au mixeur de tout le fruit du melon à l'exception de l'écorce et des semences et analyse d'un peu du jus broyé.

Deux méthodes non destructives existent et ils peuvent s'exécuter soit automatiquement, soit manuellement :

- prélèvement d'une mini-carotte de 1-2 mm d'épaisseur et analyse du jus de cette carotte. Le trou est bouché avec un peu de cire.
- extraction d'un peu de jus avec une seringue. Cette méthode ne laisse pas de traces intérieures et est presque invisible à l'extérieur.

Le jugement d'un lot par des méthodes non destructives se fait soit sur une partie du lot en version manuelle (5 à 20% des fruits), soit sur la totalité du lot en version automatique. Le lot est jugé de bonne qualité quand 80% des fruits sont à indice réfractométrique égal ou supérieur à 12% avec seulement 5% de fruits à indice réfractométrique inférieur à 9%.

6. Evolution de la qualité après la récolte

En général la qualité du produit se dégrade assez rapidement durant la conservation si le fruit a été cueilli trop tôt, mais ne se dégrade que normalement (moins vite) si on a cueilli le fruit près du stade de maturité. Pour les fruits destinés à l'exportation il faut donc déconseiller des récoltes trop précoces, mais aussi il faut éviter de récolter trop mûr.

La teneur en sucres chute assez rapidement (0,3% par jour) si l'on conserve le fruit à des températures élevées (25 - 28° C). Par contre si on conserve le fruit à 10 - 12° C, la teneur en sucres reste presque stable.

En matière de fermeté de la chair il est connu que pour des températures de 22 - 25° C la fermeté rechute rapidement après 2 à 4 jours et on obtient des textures trop fondantes. Par contre la conservation entre 4 et 10° C durant 7 à 10 jours n'entraîne pas un grand changement en matière de texture et de fermeté.

L'influence du type variétal est très importante sur l'évolution de la qualité après la récolte. En général les cantaloups brodés évoluent (ou fermentent) plus lentement que les cantaloups charentais. Le type Galia est encore moins sensible à ce phénomène et se rapproche à ce point beaucoup des types sucrins à longue conservation. Parmi les variétés de cantaloup charentais certaines variétés sont très sensibles à ce phénomène (surtout les variétés anciennes comme le "Petit Gris de Rennes") et d'autres moins (les variétés modernes et quelques anciennes variétés rustiques comme Bellegarde" et "Piere Bénite".

7. Critères pour la récolte

Plusieurs caractéristiques annoncent la maturation du fruit. Certaines sont présentes chez tous les variétés, d'autres sont présentes chez certains types seulement.

Chez tous les types de melons on peut constater 3 phénomènes :

- une élasticité sur la partie inférieure (partie piltillaire)
- un changement de coloration au niveau de la peau (virement vers une couleur plus claire ou plus jaune)
- flétrissement de la feuille au dessus du melon, indiquant la prématurité, avant même l'apparition de la craquelure autour du pédoncule chez le charentais

Chez quelques types il y a apparition de la craquelure circulaire autour de la base du pédoncule (type charentais ou cantaloup brodé en général). Chez certains charentais il y a apparition d'une cerne autour de la tâche pistillaire, tandis que chez d'autres charentais il y a apparition d'une petite broderie fine surtout en anneau autour du pédoncule.

En fonction de la destination du produit et du type de conservation ou de transport on peut ainsi orienter le stade le plus propice pour la récolte. Nous pouvons distinguer notamment les cas suivants :

- consommation rapide sans utilisation du froid : récolte dès que la craquelure commence à se former
- consommation rapide mais avec utilisation du froid : récolte à maturité complète ou presque donc avec craquelure formée
- expédition lointaine sans utilisation du froid : récolte dès apparition du flétrissement ou jaunissement de la feuille au-dessus du melon, sinon dès la changement de la couleur du fruit ; l'ombilic doit rester dans les deux cas assez ferme. Dans certains cas l'insertion du pédoncule bien dessinée et devenant jaunâtre est le signe pour la récolte.
- expédition lointaine avec utilisation du froid : dès que la craquelure commence à se former

En général on exige pour l'exportation des fruits ayant encore une partie de leur pédoncule (maximum 3 cm).

8. Influence des différents facteurs sur la qualité

8.1. Azote

Une carence en azote favorise une forme allongée du fruit, donne une coloration plus claire et peu grise du charentais et résulte dans une chair claire et un goût faible. Un excès d'azote, en condition d'irrigation abondante augmente la tendance à l'éclatement des fruits, mais sous régime d'irrigation peu abondante, elle a plutôt l'effet inverse.

8.2. Potasse et magnésium

Une carence en potassium donne une chair grumeleuse et amère. Ce phénomène apparait le plus facilement sur sol sablonneux. En cas d'irrigation abondante une augmentation de la fertilisation potassique permet de réduire le

phénomène des fentes des fruits, tout en augmentant le calibre. La relation Mg/K est très importante au niveau de la teneur en sucre et de la fermeté de la chair. Exprimé en me cette relation doit être comprise entre 0,14 (1/7) et 0,33 (2/6). Cette relation fait l'objet d'études en France en ce qui concerne son influence sur la vitrification intérieure des melons.

8.3. Phosphore

Une carence en phosphore donne des fruits de taille réduite et à chair plus foncée (rougeâtre). Une bonne fertilisation en P_2O_5 permet d'améliorer la qualité gustative ; c'est ainsi que certains auteurs préconisent des traitements foliaires avec le phosphate d'ammoniaque à raison de 2g/litre. Des pulvérisations avec des solutions contenant de l'acide phosphorique sont conseillées également par d'autres auteurs, mais la concentration à utiliser doit être de 0,5% et ne jamais dépasser 1%.

8.4. Bore

Des carences en bore peuvent provoquer des fentes chez le melon en condition de faible approvisionnement en eau. Des pulvérisations foliaires exécutées au stade rameau 20 - 25 cm et au stade fruit noué (2 cm de diamètre) augmentent la teneur en sucres. On préconise des solutions de Borax contenant 200 - 250 g/hl.

8.5. Irrigation

Une bonne irrigation augmente en général la qualité par rapport à des cultures conduites sous stress hydrique prononcé. Par contre un léger stress hydrique permet d'améliorer le rapport matières solides solubles/acidité, mais diminue légèrement le calibre des fruits. Une augmentation des quantités d'eau au niveau de l'irrigation augmente le poids moyen du fruit et le rendement, mais la fermeté du fruit (mesuré avec le pénétromètre) diminue.

L'irrigation des cultures en excès par rapport aux besoins de la culture (voir fiche de la conduite de l'irrigation) peut favoriser l'éclatement des fruits, et ceci en liaison avec la fertilisation (il faut veiller au bon équilibre entre l'azote et le potasse, surtout l'utilisation du nitrate de potasse est à conseiller chez les agriculteurs irrigant largement). L'influence variétale est très importante à ce niveau et il s'avère que les cantaloups charentais sont très sensible à ce phénomène, alors que

les melons brodés sont très résistants. Les cantaloups brodés (Pancha, Super Sprint, Panchito, Rasto, etc...) sont peu sensibles à ce phénomène. On considère qu'un taux d'éclatement de 15 - 20% est normal chez les charentais non brodés.

L'éclatement est également favorisé par des doses d'irrigation irrégulières, même si la dose totale n'est pas en excès. En général on conseille de conduire la culture légèrement en dessous des besoins en eau, mais en cadence régulière et ceci afin de lier bonne productivité, qualité visuelle (calibre) et qualité gustative (teneur en sucre) avec une faible taux d'éclatement.

8.5. Sol

En général il est plus facile d'obtenir une bonne qualité du melon sur sol consistant, que sur sol léger ou sablonneux. Dans ce dernier cas l'obtention d'une bonne qualité est liée à la bonne conduite de l'irrigation et de la fertilisation.

8.6. Température

La conduite de la culture à des températures nocturnes faibles (en dessous de 12° C) résulte dans l'obtention de beaucoup de petits fruits, surtout si la vigueur de la plante est faible et si la variété a tendance à produire des fruits en position basse (comme Alpha).

Sous régime hivernal l'obtention d'une production convenable exige des températures d'autant plus élevées que la variété est moins vigoureuse. La variété Alpha est très exigeante à ce point tandis que Pancha a des exigences plus faibles.

Les températures trop faibles peuvent entraîner des déformations de fruits, notamment des fruits doubles et des fruits avec le cul de signe et ce en condition d'excès de vigueur si les températures du sol élevée, mais surtout en conditions lumineuses déficientes).

Les températures du sol sont très importantes. Si elles sont trop basses on peut arriver à des carences en phosphores et à des phénomènes d'assèchement des apex des fruits. Des températures trop élevées et dépassant les 27° C (surchauffe) peuvent entraîner des dégâts par absorption déficiente.

8.7. Lumière

Sous conditions de lumière déficiente accompagnés de températures trop

faibles pour la variété il y a l'apparence du cul de signe au niveau du fruit. Certaines variétés comme le melon Ananas sont très sensibles à ce phénomène en conditions hivernales. Les variétés Galia semblent plus sensibles que la plupart des variétés du type cantaloup ou cantaloup brodé. En journée décroissante certaines variétés sont plus sensibles à la formation de cavités centrales plus ou moins creuses. Les variétés à faible vigueur sont déconseillées pour les cultures d'arrière saison, car leur rendement est faible et on trouve facilement des cavités centrales creuses, mais aussi certaines variétés vigoureuses (Gamma) ne donnent pas satisfaction en journée décroissantes.

8.8. Taille et effeuillage

La taille et l'effeuillage peuvent être utilisés pour équilibrer la croissance et la fructification et contribuer ainsi à influencer la qualité du fruit.

L'époque de l'effeuillage est très importante. En général des effeuillages tardifs (en cours de production) ont peu d'effet sur le rendement et sur la qualité, et permettent de mieux aérer la culture, diminuant ainsi les attaques d'Oidium. Un effeuillage faible (25% des feuilles et des bourgeons) permet en général de hâter la production sans influencer le rendement et la qualité. Un effeuillage de 50% au stade épanouissement des premiers fleurs femelles est sans effet, mais effectué plus tard il entraîne une réduction de la qualité et du rendement. Un effeuillage sévère (75%), effectué après la floraison de la 1^{ère} fleur femelle, diminue le rendement et la qualité, mais effectué plus tardivement (peu avant le démarrage de la production) il n'affectera pas le rendement, mais la qualité sera diminuée.

On peut utiliser également la taille et/ou la suppression de rameaux pour équilibrer les cultures. En général la taille des rameaux secondaires (dans certains cas primaires) fructifères doit se faire tardivement (dès que le fruit noué a atteint 4 cm au moins) en laissant deux feuilles derrière le fruit noué. La suppression des rameaux non productifs est à conseiller pour éviter une densité foliaire trop importante et peu efficace, mais l'anticipation au niveau de cette opération est à éviter également et on conseille au moins de donner la chance à la nouaison des fleurs bisexuées apparaissant dans les 4 premiers nœuds.

Afin d'échelonner la production de fruits bien calibrés il est conseillé d'éliminer au moins un rameau fructifère sur deux et pour les variétés vigoureuses

deux rameaux sur trois.

8.9. La conduite culturale

La conduite verticale donne un rendement nettement supérieur par rapport à la culture à plat. Le calibre des fruits est également plus important et la qualité visuelle est meilleure, mais la production est plus tardive.

La conduite à plat provoque sur le fruit une tâche décolorée, souvent un peu ramollie, dépréciant la qualité du fruit. Le seul remède pour pallier à ceci est de retourner souvent (prèsque quotidiennement) le fruit. C'est d'ailleurs sur cet peut juger aussi assez facilement la maturation du fruit (changement de couleur de l'endroit qui touche le sol.

Les fruits obtenus sur des cultures à plat sont plus sujets à des attaques de Botrytis et de Sclerotinia, même sur sol irrigué en localisé. Un paillage plastique permet de remédier à ceci.

9. Comparaisons de la qualité du melon Pancha

Résultats des analyses de la teneur en sucres du melon en arrière-saison

Designation	Sites		
	Tozeur	OEP Chenchou	Jemna
Nombre d'observations	19	25	30
Valeur minimale	9	9	12,2
Valeur maximale	16	14,8	15,4
Valeur moyenne	13,07	12,47	13,37
Ecart-type	1,82	1,42	0,77

Il ya peu de différences en qualité et dans toutes les cas le melon dépassait le seul de 9.

Tableau 1 : Effet variétal sur la distribution de fleurs femelles 30 jours après la plantation.

Variétés	Nombre de fleurs tige princi.	bras primai	femelles/plante bras second.	Nombre total de fleurs femelles/plate
Alpha	0.02 a	1.8 a	5.0 a	6.8 a
Orlinabel	0.00 a	0.2 b	0.8 b	1.0 b
Ariana 72	0.00 a	0.3 ab	0.7 b	0.9 b
Doublon	0.00 a	0.2 b	0.7 b	
ppds 5%	10.20	1.6	2.3	1.6

Tableau 2 : Effets de mode de taille sur la floraison

mode de taille	Nombre de fleurs tige princi.	bras primai	femelles/plante bras second.	Nombre total de fleurs femelles/plate
02	0.02 a	2.0 a	0.0 b	2.1 ab
102	0.00 a	0.0 b	1.4 ab	1.5 b
202	0.00 a	0.0 ab	3.0 a	3.0 ab
4/20/243	0.00 a	0.4 b	2.8 a	3.2 a
ppds 5%	1.6	2.3	2.3	1.6

Tableau 3 : Effets de mode de taille sur la récolte précoce

mode de taille	Pods moyen de fruit (g)	nombre de fruits/m ²	rendement total g/m ²
02	556 a	2.8 ab	1926 a
102	692 a	2.1 b	1432 a
202	558 a	2.3 ab	1377 a
4/202/243	561 a	3.1 a	1874 a
ppds 5%	140	0.9	756

Tableau 4 : Effet variétal sur le rendement précoce

variétés	Pods moyen des fruits en g	nombre de fruits/m ²	rendement total g/m ²
Alpha	768 a	4.0 a	2750 a
Orlinabel	592 b	1.8 c	130 bc
Ariana 72	599 b	2.9 b	1772 b
Doublon	409 c	1.6 c	783 c
ppds 5%	140	0.9	756

Tableau 5 : Effet de la densité sur la récolte précoce

Densité plants/m ²	poids moyen des fruits en g	Nombre de fruits/m ²	rendement précoce g/m ²
2.0	561 a	3.2 a	2006 a
1.75	617 ab	2.3 b	1782 a
1.5	502 b	3.4 a	1980 a
1.25	688 a	1.3 c	840 b
ppds 5%	140	0.9	756

Tableau 6 : Effets de différents systèmes de taille sur le rendement total

mode de taille	pods moyen des fruits en g	nombre de fruits/m ²	rendement total g/m ²
02	674 ab	6.1 bc	3988 b
102	712 a	5.6 c	3927 b
202	660 ab	7.0 ab	4392 ab
4/202/243	627 b	8.0 a	7974 a
ppds 5%	76	1.2	963

Tableau 7 : Effet variétal sur le rendement total

Variétés	pods moyen des fruits en g	nombre de fruits/m ²	rendement total g/m ²
Alpha	724 a	6.8 a	4631 a
Orlinabel	765 a	6.3 a	4709 a
Arian 72'	576 b	7.3 a	4148 a
Doublon	606 b	6.4 a	3793
ppds 5%	76	1.2	963

Tableau 8 : Effet de la densité sur le rendement total

Densités plants/m ²	pods moyen des fruits en g	nombre de fruits/m ²	rendement total g/m ²
2	631 b	8.5 a	5225 a
1.75	660 b	7.0 b	4569 ab
1.5	644 b	6.6 b	4195 bc
1.25	736 a	4.6 c	2393 c
ppds 5%	76	1.2	963

FIN

107

VUES