

Guide de la tomate hors sol à La Réunion



Serge Simon,
Janice Minatchy



Guide de la tomate hors sol à La Réunion

Serge Simon
Janice Minatchy



Préface

La tomate, notamment la petite tomate de forme allongée, fait partie de la tradition culinaire de La Réunion. C'est même le premier légume consommé localement, à raison de 13,2 kilos par habitant et par an. Le marché local de la tomate est donc important et le volume d'approvisionnement des points de distribution influe sur les prix.

Les aléas climatiques de La Réunion et la pression parasitaire constante tout au long de l'année ont amené les producteurs de plein champ à s'orienter vers d'autres techniques agricoles, comme les cultures sous abri et les cultures hors sol. De ce fait, la filière maraîchère réunionnaise évolue rapidement : les agriculteurs implantent davantage de serres et ils souhaitent mettre en œuvre de nouvelles techniques alliant productivité et qualité.

Sur le plan commercial, le secteur de la distribution a deux exigences fortes : la régularité de l'offre et l'amélioration de la qualité. La production de tomate hors sol sous abri, par rapport à la culture en plein champ, permet de mieux répondre à cette double exigence.

La culture de la tomate hors sol sous abri implique la maîtrise technique de nombreux paramètres, allant de la mise en place de la serre au suivi de sa culture, en passant par la gestion efficace et saine des problèmes parasitaires. Ce sont là les nombreuses pistes de travail auxquelles se sont attelés différents organismes locaux pour répondre aux enjeux de la filière.

Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) a contribué à la mise au point d'itinéraires techniques qui ont permis un développement efficace de la culture sous abri. Cela s'est également traduit par une plus grande maîtrise de la culture et par l'augmentation des rendements.



L'Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole (ARMEFLHOR) a contribué, par les nombreuses expérimentations qu'elle a conduites depuis plus de 15 ans, à l'amélioration des techniques de production des cultures légumières sous abri, et notamment de la tomate.

La Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles (FDGDON) a accompagné les producteurs dans la mise en œuvre des bonnes pratiques phytosanitaires compatibles avec les exigences règlementaires et alimentaires ainsi qu'avec les conditions de travail sous serre. La protection biologique intégrée est une démarche qui répond à ces exigences. C'est donc tout naturellement que cette nouvelle approche de lutte s'est développée en réponse aux attentes des producteurs.

Enfin, la Chambre d'agriculture de La Réunion, par l'intermédiaire du Service d'utilité agricole et de développement (SUAD), a apporté l'accompagnement nécessaire aux producteurs de tomate, notamment ceux pratiquant la culture hors sol sous abri, pour l'acquisition des nouvelles techniques.

Le Guide de la tomate hors sol à La Réunion, fruit de nombreuses contributions, permet à chaque producteur serriste d'avoir un outil complet pour la conduite des cultures de tomate hors sol. Les auteurs ont souhaité faire de cet ouvrage un outil adapté au contexte local qui réponde au manque de références pour nos cultures tropicales.

Les coéditeurs de ce guide technique, CIRAD et FDGDON Réunion, remercient les bailleurs de fonds et toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Gilles Mandret
Directeur régional
du CIRAD Réunion

Didier Foucque
Président
de la FDGDON Réunion



Remerciements

Les auteurs expriment leurs plus vifs remerciements à tous les partenaires qui ont participé, de près ou de loin, à l'élaboration de ce guide, par la réalisation d'expérimentations ou par leur aide à la rédaction. Notre gratitude s'adresse en particulier aux acteurs de l'Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière légumière et horticole (ARMEFLHOR) qui ont travaillé au sein du groupe Cultures sous abris et qui ont posé les bases de ce guide. Les auteurs remercient les producteurs réunionnais de cultures hors sol qui ont accueilli les expérimentations sous leurs abris et qui les ont encouragés à rédiger cet ouvrage, ainsi que toutes les personnes qui ont apporté des informations complémentaires.

Auteurs

Serge Simon, chercheur horticulture, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

Janice Minatchy, responsable Services, Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles de La Réunion (FDGDON Réunion)

Contributeurs et relecteurs

■ Yann Bourglan, ingénieur agronome, auparavant ingénieur culture sous abri ARMEFLHOR à La Réunion

■ Jean-Marie Boyer, technico-commercial, Coopérative des Avirons, La Réunion

■ David Caron, responsable du département Produits agricoles, société COROI SAS, La Réunion

■ Jean-Sébastien Cottineau, ingénieur agronome, groupement de producteur VIVEA, La Réunion, auparavant volontaire aide technique du CIRAD à La Réunion

■ Hubert De Bon, chercheur horticulture, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

■ Laurence Dijoux, responsable des expérimentations, division phytovigilance et qualité du Service de la Protection des végétaux de La Réunion

■ Cyril Festin, chargé de développement appui filières, FDGDON Réunion

■ Cécile Fovet-Rabot, éditrice scientifique, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

■ Olivier Gambin, auparavant responsable des luttes individuelles de la FDGDON Réunion, aujourd'hui dans l'Education nationale

■ Serge Georger, directeur de la FDGDON Réunion.



■ Davy Gonthier, auparavant chargé de développement de la FDGDON Réunion, aujourd'hui dans l'Education nationale

■ Bruno Hostachy, ingénieur agronome, chef de station du Laboratoire national de la protection des végétaux, station ravageurs et agents pathogènes tropicaux, Saint-Pierre, La Réunion

■ Christian Langlais, chercheur horticulture, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

■ Jean-Michel Lett, chercheur entomo-phytovirologue, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de La Réunion

■ Sabine Merion, technicienne de laboratoire de diagnostic-conseil phytosanitaire, FDGDON Réunion

■ Nicolas Payet, chargé d'étude à la cellule Mission de valorisation agricole des déchets, département productions végétales SUAD, Chambre d'agriculture de La Réunion

■ Steve Payet, agent de développement appui filières, FDGDON Réunion

■ Gilbert Rossolin, responsable cellule environnement, département productions végétales SUAD, Chambre d'agriculture de La Réunion

■ Philippe Ryckewaert, entomologiste, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

■ Jacques Tassin, chercheur dynamique forestière, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

■ Pierre Tilma, technicien maraîchage, département productions végétales SUAD, Chambre d'agriculture de La Réunion

■ Benoît Trojnar, chef produit, Coopérative des Avirons, La Réunion

■ Philippe Vernier, agronome, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

Photographes

© FDGDON Réunion ;

Fabrice Le Bellec, Philippe Ryckewaert, Serge Simon : © CIRAD

Edition et maquette

Cécile Fovet-Rabot, éditrice scientifique

Martine Duportal, maquettiste infographiste

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier



Sommaire

| | |
|--|----|
| Préface | 2 |
| Remerciements | 4 |
| Pourquoi éditer <i>Le guide de la tomate hors sol à La Réunion</i> | 10 |
| Introduction | 11 |

Aménagement des serres

13

| | |
|--|----|
| Site d'implantation | 14 |
| Vents dominants | 14 |
| Pente du terrain | 19 |
| Déplacements dans l'exploitation | 19 |
| Choix d'un type d'abri et de son équipement | 21 |
| Protection contre la pluie | 22 |
| Maîtrise du climat sous serre | 22 |
| Résistance aux vents cycloniques | 28 |
| Hauteur de l'abri | 30 |
| Particularité : la pépinière | 31 |
| Principales mesures de prévention contre les adventices, les ravageurs et les maladies | 32 |
| Extérieur des serres | 32 |
| Protection contre l'introduction d'insectes | 33 |
| Protection du sol | 34 |
| Entrée de la serre | 34 |
| Eau : principales précautions | 37 |
| Intérieur de la serre aux différents stades de culture | 38 |
| Personnel : hygiène et déplacements | 39 |



Choix et préparation des substrats

41

| | |
|---------------------------------|----|
| Types de substrats à La Réunion | 42 |
| Tourbe blonde | 43 |
| Fibres de coco | 46 |
| Scorie de charbon brute | 51 |





| | |
|---|-----------|
| Pour en savoir plus sur les propriétés des substrats | 54 |
| Propriétés mécaniques | 54 |
| Propriétés physiques : conséquences sur l'irrigation | 56 |
| Propriétés chimiques | 60 |
| Propriétés biologiques | 62 |

De la préparation de la serre à la plantation

63

| | |
|---|-----------|
| Préparation de la serre | 64 |
| Nivellement et profilage | 64 |
| Paillage plastique | 65 |
| Fils de palissage | 66 |
| Installation du réseau d'irrigation | 68 |
| Plantation | 68 |
| Densité de culture | 68 |
| Volume de substrat par plante | 68 |
| Mise en place des substrats organiques | 69 |
| Ficelles de palissage | 72 |
| Pré-plantation des plants en conteneurs individuels | 72 |
| Plantation | 72 |



Irrigation

75

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Pilotage de l'irrigation | 76 |
| Irrigation après la plantation | 77 |
| Irrigation des plants adultes | 77 |
| Equipement | 78 |
| Electrovanne programmable | 78 |
| Programmateurs | 78 |
| Pilotes d'irrigation | 78 |
| Ordinateur de fertigation | 80 |





Fertilisation

Éléments minéraux indispensables à la tomate

Interactions entre les éléments minéraux dans la solution nutritive

Préparation de la solution nutritive

Définitions et principes de dilution

Préparation de la solution mère

Obtention de la solution nutritive (solution fille)

Contrôle de la solution nutritive



83

84

86

87

87

87

90

90

Adaptation de la solution nutritive aux stades physiologiques de la plante : application à La Réunion

Première phase : plantule au 3^e bouquet fleuri

Deuxième phase : 4^e bouquet fleuri à la récolte du 2^e bouquet

Troisième phase : récolte du 2^e bouquet à la fin de récolte

96

96

98

99

Station de fertilisation

Moins de 500 m² de serres

Exploitation intermédiaire (500 à 2 000 m²)

Grande exploitation de plus de 2 000 m² sous abri

101

101

101

102

Entretien de la culture

Palissage

Enroulement ou clips

Descente des plants

Taille

Ebourgeonnage

Effeuillage

Taille des bouquets

Fécondation

Vibrage mécanique

Soufflage

Récolte

Fin du cycle cultural



105

106

106

108

109

109

110

111

112

112

113

114

114



Principes de protection phytosanitaire 117

| | |
|---|-----|
| Protection biologique intégrée | 118 |
| Prévention des maladies et ravageurs : la prophylaxie | 119 |
| Bonnes pratiques des traitements phytosanitaires | 120 |
| Généralités sur les produits phytosanitaires | 120 |
| Consignes pour choisir un produit phytosanitaire | 124 |
| Consignes à respecter avant, pendant et après un traitement | 125 |



Principaux problèmes phytosanitaires 131

| | |
|---|-----|
| Aleurodes ou mouches blanches | 132 |
| Thrips | 135 |
| Pucerons | 137 |
| Mouches mineuses | 139 |
| Noctuelles défoliatrices | 141 |
| Noctuelle des fruits | 143 |
| Acariens tétranyques ou araignées rouges | 145 |
| Acariose bronzée | 147 |
| Tarsonèmes ou acariose déformante | 149 |
| Pourriture grise | 151 |
| Oïdium | 153 |
| Mildiou | 154 |
| Cladosporiose | 156 |
| Dépérissement dû à <i>Pythium</i> | 158 |
| Fusariose des racines et du collet | 160 |
| Chancre à <i>Didymella</i> | 162 |
| Flétrissement bactérien | 164 |
| Maladie bronzée de la tomate | 166 |
| Virus Y de la pomme de terre | 168 |
| Maladie des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV) | 170 |
| Virus de la chlorose de la tomate | 172 |
| Glossaire | 174 |
| Bibliographie | 185 |





Pourquoi éditer le *Guide de la tomate hors sol à La Réunion ?*

Le *Guide de la tomate hors sol à La Réunion* synthétise les pratiques et les acquis des acteurs du monde agricole réunionnais concernés par l'agriculture sous abri, agriculteurs et institutions. Il a été conçu pour accompagner les producteurs dans les bonnes pratiques culturales et phytosanitaires. Il constitue aussi un outil d'aide pour les techniciens des filières végétales dans leur travail d'encadrement et de conseil auprès des agriculteurs. Il regroupe les éléments techniques nécessaires au transfert de compétences dans le cadre de sessions de formation. Ce guide est un premier pas vers une démarche de production plus technique mais aussi plus respectueuse de l'environnement.

Un guide en appui à l'évolution des pratiques réunionnaises. La culture de la tomate a évolué. Produite surtout en plein champ, la tomate est aussi de plus en plus cultivée sous abri, en culture conventionnelle ou en hors sol. Passer d'un mode de culture à l'autre n'est pas aisé, car la pratique de plein champ n'est pas transposable à la culture sous abri. De surcroît, les techniques hors sol exigent la connaissance précise des besoins de la plante pour adapter les apports d'éléments minéraux nutritifs et d'eau.

Ce guide passe en revue les besoins matériels d'une production hors sol : ces informations sont utiles aux futurs producteurs serristes dans la prévision de leur investissement. Pour les serristes déjà installés, il apporte des informations complémentaires visant l'amélioration de la conduite culturale, du semis à la récolte en passant par la maîtrise des opérations culturales et la gestion phytosanitaire, qui évolue vers la protection biologique intégrée.

Un guide adapté au contexte environnemental de La Réunion. L'île est soumise à des conditions climatiques très variables selon l'altitude et la région. La diversité des microclimats amène le producteur à adapter la conduite culturale et phytosanitaire en fonction de la localisation de son exploitation. Ce guide prend en compte ce contexte dans le choix de l'abri et dans la maîtrise du climat sous abri. Il aborde aussi la protection biologique intégrée, qui se développe à La Réunion. Elle met l'accent sur l'emploi des insectes utiles (les « auxiliaires ») présents sur l'île, qui doivent être préservés et qui permettent de cultiver la tomate en respectant l'environnement, y compris sous abri.



Introduction

La tomate est un légume fruit produit depuis longtemps à La Réunion et très apprécié pour ses qualités culinaires (tableau 1).

Le contexte climatique particulier de La Réunion, avec ses microclimats et des conditions très propices à une forte pression parasitaire constante tout au long de l'année, fait que la culture « sous abri hors sol » a d'abord été développée pour la tomate, puis pour le concombre, le poivron et le melon. La culture « sous abri de pleine terre » est plutôt réservée à la salade, à la fraise et au haricot. Depuis la fin des années 1990, la surface des cultures sous abri a d'ailleurs quasiment triplé, passant de 20 ha avant 1999 à 55 ha en 2007 et le nombre de producteurs serristes a été multiplié par 6, passant de 45 à 280 agriculteurs.

La culture de la tomate sous abri a commencé en 1996, à la suite de l'apparition du virus de la maladie des feuilles jaunes en cuillère (*Tomato yellow leaf curl virus*, virus TYLC). Transmis par l'aleurode *Bemisia tabaci*, ce virus est très préjudiciable à la culture de plein champ. L'abri constitue de ce fait une barrière physique efficace contre les aleurodes et, du même coup, permet de s'affranchir de certaines contraintes liées au climat de l'île, comme les fortes pluies et les cyclones (dans le cas d'abris anticycloniques).

Tableau 1. La culture de la tomate à La Réunion
(d'après Chambre d'Agriculture de La Réunion, données 2006).

| | Tomate de plein champ | Tomate hors sol |
|---|--|---|
| Type de culture | Les variétés cultivées en plein champ sont essentiellement des petites tomates. Ces variétés correspondent au type « conserve » car, à La Réunion, les tomates sont surtout accommodées cuites (sauce tomate) plutôt qu'en salade (tomate crue). | Certains producteurs produisent à la fois de la tomate de plein champ et de la tomate hors sol sous abri. Il n'y a pas de culture de tomate « sous abri de pleine terre ». |
| Production locale* | 5 000 t/an | 6 000 t/an |
| Prix à la consommation** | 0,3 à 9 €/kg | 0,73 à 11 €/kg |
| Exploitations | 299 producteurs 180 ha, essentiellement en petite tomate Cycle 3 à 4 mois Rendement 40 à 70 t/ha | 142 producteurs 41 ha : 28,7 ha en petite tomate et 12,3 ha en grosse tomate Surface des abris par exploitation : 21 % moins de 500 m ² 50 % 500-2 000 m ² 29 % plus de 2 000 m ² Cycle 6 à 9 mois Rendement 200 à 350 t/ha |
| * A laquelle il faut ajouter l'importation en frais, très faible, de 9,5 t/an | | |
| ** Consommation de tomates à La Réunion : 13,2 kg/an/habitant | | |



La culture de tomate sous abri est aujourd'hui conduite uniquement en hors sol pour une raison phytosanitaire essentielle, l'infestation des sols de La Réunion par la bactérie *Ralstonia solanacearum* responsable de la maladie du flétrissement de la tomate. La culture hors sol permet de limiter l'installation de ce fléau et aussi d'autres maladies fongiques courantes. Les techniques hors sol permettent également de maîtriser l'alimentation hydrique et minérale des plantes.

Le choix de la culture sous abri en hors sol exprime la volonté des agriculteurs de produire autrement, en renforçant leur technicité et en améliorant notamment leurs pratiques phytosanitaires par la protection intégrée. La finalité est de produire une tomate répondant aux exigences de la sécurité alimentaire. Un producteur peut avoir simultanément des cultures de plein champ et en hors sol. Pour passer du plein champ au « sous abri » et au « hors sol », les agriculteurs sont accompagnés par les techniciens des organismes de développement agricole. Ils bénéficient ainsi d'un appui technique sur le plan agronomique et phytosanitaire. Des formations sont par ailleurs mises en place par ces organismes et par les centres de formation agricole.

© S. Simon



Aménagement des serres



L'orientation des serres doit tenir compte en priorité de l'orientation des alizés, qui sont les vents dominants de l'île de La Réunion. Mais le relief accidenté de l'île ne facilite pas toujours l'implantation des structures et l'organisation de l'exploitation influence également sur cette implantation.



© FDGDON

Site d'implantation

L'implantation des serres dépend de trois critères (figure 1) :

- l'orientation des vents dominants (essentiellement les alizés) ;
- la pente du terrain ;
- les déplacements dans l'exploitation.

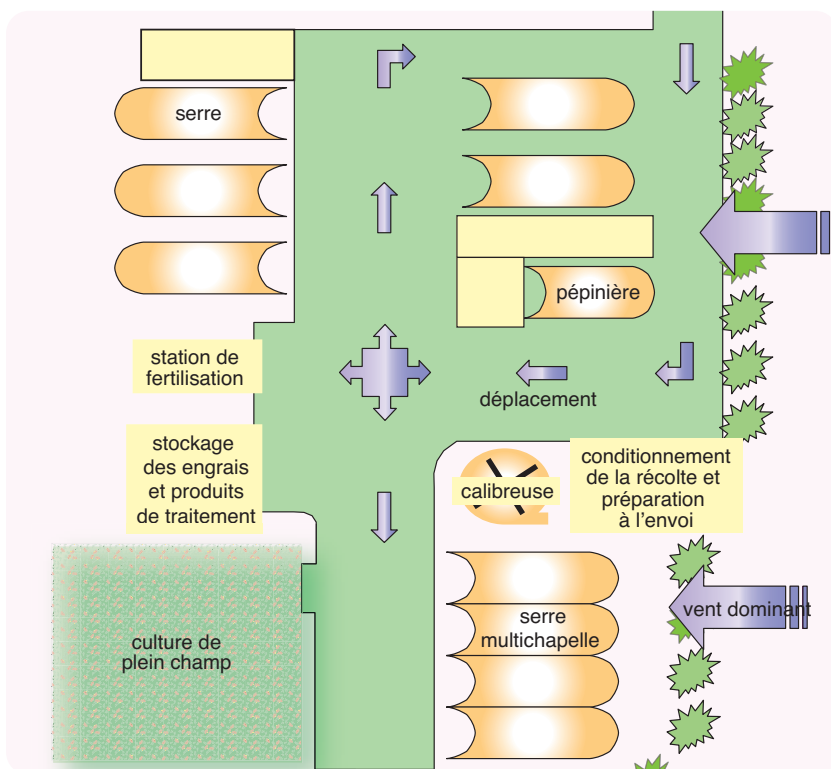


Figure 1. Exemple de disposition des abris dans une exploitation.

Vents dominants

Pour limiter la prise au vent, la plus grande longueur de la serre est le plus possible parallèle au sens des vents dominants (et non pas perpendiculaire).

A La Réunion, une haie d'arbres brise-vent perméable peut réduire la vitesse du vent jusqu'à 50 % sur une distance de l'ordre de 5 fois sa



hauteur. Pour cela, elle doit avoir une porosité d'environ 40 % et laisser passer une partie de l'air à sa base, ce qui empêche la formation de tourbillons (figure 2).

Dans le sud de l'île (stations CIRAD de Bassin-Plat et Ligne-Paradis), l'efficacité aérodynamique des brise-vent a été étudiée à l'aide d'anémomètres totalisateurs disposés sur des mâts métalliques. Les espèces de haies brise-vent les plus adaptées à La Réunion sont données dans le tableau 2. Ces expérimentations ont notamment confirmé trois effets (Tassin et Gauvin, 1999) :

- la faible efficacité des brise-vent à *Eucalyptus camaldulensis*, avec une diminution de 20 % de la vitesse du vent sur 2 à 4 fois seulement la hauteur du brise-vent ;
- l'efficacité satisfaisante des haies de *Calliandra calothyrsus*, au port mieux équilibré et au feuillage plus uniformément réparti. La protection s'étend sur 5 fois la hauteur du brise-vent, sauf en vent fort pour lequel un tourbillon se crée (le flux incident est dévié vers le haut puis se rabat immédiatement en aval de la haie) ;
- l'effet négatif de talus dégarnis au pied des vieux brise-vent. Ces talus jouent le rôle de tremplins d'accélération du vent, avec des effets contraires à ceux attendus.

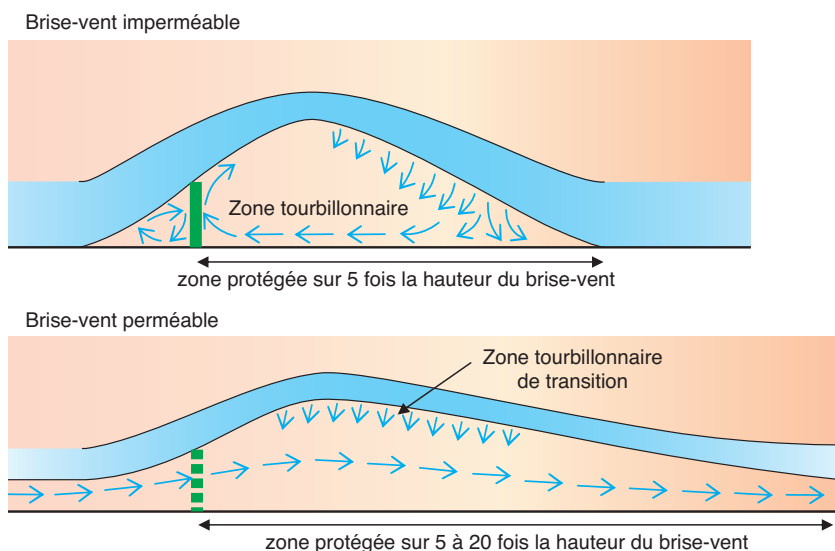


Figure 2. Effet d'un brise-vent imperméable ou perméable (d'après Wacquant, 2000).

+++++ : très élevé, ++ : élevé, + : moyen, + : faible.
- : pas de données disponibles

| Espèce | Utilisation E, expérimentale T, traditionnelle | Hauteur adulte (m) | Type A, arbre a, arbruste | Porosité optique | Fonctions principales Pr, protection contre le vent Or, ornementation Gr, graines Fr, fruits Fo, fourrage | Vitesse de croissance (m/an) | Hauteur de la base du houppier (m) | Pluie annuelle utile (mm) | Bourrage (espèce plantée pour compléter un alignement d'arbres) | Arbre de haut jet | Résistance au vent | Divagation racinaire (m) | Fréquence des touches (d'où tailles de formation) | Sociabilité entre arbres de la même espèce |
|---|--|--------------------------|---------------------------------|---------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|--|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|--|---|
| <i>Acacia aciculiformis</i> | E | 10 à 15 | A | 0,9 à 0,2 | Pr | > 1,5 | 0,5 à 1 | 1 000 à 2 000 | Non | Qui | +++ | 2 à 5 | +++ | +++ |
| <i>Acacia wilkesiana</i> | T | 3 à 6 | a | 0,3 à 0,5 | Pr, Or | 1 à 1,5 | - | 1 000 à 3 000 | Oui | Non | +++ | < 2 | + | +++ |
| <i>Alnus acuminata</i> | E | 10 à 20 | A | - | Pr | 1,5 à 2 | - | 1 000 à 3 000 | Oui | Oui | +++ | < 2 | + | +++ |
| <i>Anacardium occidentale</i> | E | 6 à 12 | A | - | Pr | - | - | 500 à 1 500 | Non | Oui | +++ | 2 à 5 | + | +++ |
| <i>Artocarpus heterophyllus</i> | T | 8 à 15 | A | 0,6 à 0,9 | Pr, Fr | 0,5 à 1 | 0,5 à 1 | 1 000 à 3 000 | Non | Oui | +++ | < 2 | +++ | ++ |
| <i>Cajanus cajan</i> | T | 1 à 4 | a | 0,9 | Pr, Gr, Or | 1 à 1,5 | - | 1 000 à 2 000 | Oui | Non | +++ | < 2 | + | +++ |
| <i>Casuarina cunninghamiana</i> | T | 15 à 30 | A | 0,7 à 0,2 | Pr | 1 à 1,5 | 1 à 1,5 | 1 000 à 2 000 | Non | Oui | ++++ | > 5 | + | ++ |
| <i>Casuarina equisetifolia</i> (filao) | T | 15 à 30 | A | 0,4 à 0,8 | Pr | 1 à 1,5 | 0,5 à 1 | 500 à 2 000 | Non | Oui | ++++ | > 5 | + | +++ |
| <i>Casuarina glauca</i> | T | 6 à 12 | A | 0,4 à 0,8 | Pr | 1 à 1,5 | - | 300 à 1 000 | Non | Oui | ++++ | 2 à 5 | + | +++ |
| <i>Calliandra calothyrsus</i> | E | 3 à 6 | a | 0,6 à 0,7 | Pr, Fo, Or | 1 à 1,5 | - | 500 à 2 000 | Oui | Oui | ++++ | < 2 | + | +++ |
| <i>innamomum camphora</i> | T | 15 à 25 | A | 0,1 | Pr | 0,5 à 1 | 0,5 à 1 | > 2 000 | Non | Oui | ++++ | 2 | + | + |

Porosité optique : la porosité optique est la perméabilité à la lumière de la matière (plus la valeur est élevée, plus la matière laisse passer la lumière). Elle se mesure en « densité de trous », obtenue par analyse d'image. Elle ne constitue néanmoins qu'un indicateur de la perméabilité au vent, sachant que cette perméabilité augmente avec la porosité optique. Cela permet de comparer les brise-vent du point de vue de leur perméabilité au vent mais cela ne permet pas de connaître la valeur réelle de perméabilité au vent de chacun d'entre eux.

Divagation racinaire : pour des alignements d'arbres, la divagation racinaire est la distance horizontale à partir du brise-vent et sur laquelle les racines sont susceptibles d'entrer directement en compétition avec les cultures.



Tableau 2 (suite).

| Espèce | Utilisation E, expérimentale T, traditionnelle | Hauteur adulte (m) | Type A, arbre a, arbuste | Porosité optique | Fonctions principales Pr, protection contre le vent Or, ornementation Gr, grappes Fr, fruits Fo, fourrage | Vitesse croissance (m/an) | Hauteur de la base du houppier (m) | Pluie annuelle adulte (mm) | Bourrage (espèce plus adaptée pour complément alignement d'autres) | Arbre de haut jet | Résistance au vent | Dégagement racinaire (m) | Fréquence des fourches (d'ou tailles de formation) | Sociabilité entre arbres de la même espèce |
|---------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|---------------------|--|---------------------------------|---|-------------------------------------|---|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|---|
| <i>Cinnamomum cassia</i> | T | 15 à 20 | A | - | Pr | 0,5 à 1 | - | - | Non | Oui | ++++ | <2 | - | + |
| <i>Cryptomeria japonica</i> | T | 20 à 30 | A | - | Pr | 0,5 à 1 | 1 à 1,5 | 1000 à 2000 | Non | Oui | +++ | 2 à 5 | + | ++ |
| <i>Cupressus lusitanica</i> | T | 15 à 30 | A | - | Pr, Or | 0,5 à 1 | - | 1000 à 3000 | Non | Oui | +++ | 2 à 5 | + | +++ |
| <i>Dodonaea viscosa</i> | E | 1 à 3 | a | - | Pr | 0,5 à 1 | - | 300 à 1000 | Oui | Non | +++ | <2 | + | +++ |
| <i>Eryobotrya japonica</i> | T | 6 à 12 | A | - | Pr, Fr | 1 à 1,5 | - | 1000 à 2000 | Non | Oui | +++ | - | + | + |
| <i>Erythrina</i> sp. | T | 4 à 8 | A | - | Pr, Or | - | 0,5 à 1 | 1000 à 2000 | Oui | Oui | ++ | <2 | ++ | ++ |
| <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | T | 15 à 25 | A | 0,5 à 0,8 | Pr | > 1,5 | 1,5 à 2 | 500 à 2000 | Non | Oui | ++ | >5 | ++ | ++ |
| <i>Eucalyptus citriodora</i> | T | 25 à 35 | A | 0,7 à 0,9 | Pr | > 1,5 | 2,5 à 3 | 1000 à 2000 | Non | Oui | +++ | 2 à 5 | + | + |
| <i>Eucalyptus tereticornis</i> | T | 20 à 30 | A | 0,5 à 0,9 | Pr | > 1,5 | 1 à 1,5 | 500 à 2000 | Non | Oui | ++ | >5 | + | ++ |
| <i>Euphorbia longan</i> | T | 8 à 15 | A | 0,1 à 0,8 | Pr, Fr | 0,5 à 1 | 0,5 à 1 | > 3000 | Non | Oui | +++ | - | ++ | +++ |
| <i>Ficus benjamina</i> | T | 6 à 12 | a-A | 0,1 | Pr, Or | 1 à 1,5 | <0,5 | > 1000 | Non | Oui | +++ | >5 | + | +++ |
| <i>Leucaena diversifolia</i> | E | 3 à 8 | a | 0,6 à 0,7 | Pr-Fo | 0,5 à 1 | <0,5 | 1000 à 2000 | Oui | Oui | ++ | <2 | + | +++ |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | T | 3 à 8 | a | 0,6 à 0,7 | Pr, Fo | 0,5 à 1 | <0,5 | 500 à 2000 | Oui | Oui | ++ | <2 | + | +++ |
| <i>Morus alba</i> | T | 3 à 10 | a | - | Pr, Fo, Pr | 0,5 à 1 | <0,5 | 1000 à 1500 | Oui | Oui | +++ | <2 | + | +++ |
| <i>Platanus acerifolia</i> | T | 10 à 15 | A | - | Pr | 1 à 1,5 | 0,5 à 1 | 500 à 1000 | Non | Oui | ++ | 2 à 5 | + | +++ |
| <i>Psidium cattleianum</i> | T | 2 à 5 | a | - | Pr, Fr | 0,5 à 1 | <0,5 | 1500 à 3000 | Oui | Oui | +++ | <2 | ++ | +++ |
| <i>Schinus molle</i> | T | 2 à 8 | a | 0,9 | Pr, Fr | - | <0,5 | 1000 à 2000 | Oui | Oui | ++ | <2 | ++ | +++ |
| <i>Vitex glabrata</i> | T | 15 à 25 | A | - | Pr | 1 à 1,5 | 0,5 à 1 | 1000 à 3000 | Non | Oui | +++ | <2 | + | + |



Serre multichapelle. © S. Simon



Serres rigides. © FDGDON



Serres tunnels. © S. Simon



Intérieur d'une Serre. © S. Simon



Ces haies doivent être entretenues régulièrement par débroussaillage et élagage. En particulier, une haie mal située ou mal entretenue peut avoir des effets négatifs sur la culture :

- si les arbres sont trop hauts ou trop près de l’abri, leur ombrage diminue la luminosité, ce qui peut provoquer une humidité excessive et une baisse de production. Pour réduire cet inconvénient, il faut tailler régulièrement les arbres et choisir des variétés d’arbres au feuillage aéré ;
- le brise-vent doit être constitué d’arbres solides pour limiter les chutes de branches pouvant endommager les structures (le filao, arbre robuste au feuillage peu dense, est par exemple plus indiqué que l’eucalyptus, plus fragile).

Pente du terrain

Pour une pente modérée, inférieure à 3 %, l’orientation de la serre dans le sens de la pente facilite le travail de terrassement puis de profilage. L’orientation par rapport au vent dominant reste toutefois le critère prioritaire.

Pour une forte pente, supérieure à 3 %, il est nécessaire d’aménager une terrasse.

Déplacements dans l’exploitation

Les zones de déplacement doivent être fonctionnelles. On évalue souvent mal les pertes de temps que représentent des déplacements difficiles. C’est pourquoi le producteur doit prendre en compte :

- l’approvisionnement en intrants ;
- le stockage des intrants, avec en particulier un local dédié aux pesticides ;
- le stockage des récoltes ;
- l’acheminement de la récolte jusqu’au lieu de chargement ;
- les manœuvres et les déplacements des véhicules ;
- la position de la station de fertilisation ;
- l’optimisation de la main-d’œuvre.

Attention à l’écoulement des eaux de pluie

Selon la superficie des serres, la quantité d’eau pluviale reçue sur leur couverture peut être élevée : une pluie de 100 mm sur un abri de 500 m² représente un volume de 50 m³ d’eau. L’évacuation de cette eau ne doit présenter aucun risque pour les serres ni pour les cultures en aval et n’entraîner aucune érosion. Elle doit être prévue à l’avance au moment de l’implantation : par exemple l’installation de gouttières et le creusement de fossés pour canaliser l’eau de pluie.



Serres bitunnels insect-proof. © FDGDON



Serre polycarbonate.

© Photos S. Simon



Armatures résistantes aux vents cycloniques.



Choix d'un type d'abri et de son équipement

De nombreux modèles de serres existent, depuis le simple tunnel rehaussé (4 m de hauteur) à la serre en tôle de polycarbonate équipée d'un ordinateur climatique (tableau 3).

Le premier critère de choix est le coût de l'investissement envisagé, qui peut être très variable.

Le second critère est technique, lié au type de production envisagée. Il s'agit de prendre en compte :

- la protection contre les pluies ;
- la maîtrise du climat dans la serre, c'est-à-dire l'humidité, les fortes chaleurs de la saison chaude en basse altitude et la fraîcheur en altitude ;
- la résistance aux vents (les alizés, plus ou moins violents) et surtout aux vents cycloniques ;
- la hauteur de la serre.

Tableau 3. Les principaux types de serres disponibles et adaptées à La Réunion.

| Type | Caractéristiques | Dimensions S, surface (m ²) l, largeur (m) h, hauteur (m) | Coût (€/m ²) (sans travaux ni équipement) Tarif variable selon surface et modèle choisi |
|---|--|--|---|
| Structure souple à pieds droits ou non | | | |
| Tunnel simple | Toit en arc <i>Insect-proof</i> côté et devant, bâche ailleurs | S minimale : 250 m ² l : 8,50 à 9,60 m h : 4 m | 20 à 75 |
| Serre bi-tunnel | Toit en arc <i>Insect-proof</i> côté et devant, bâche ailleurs Toile <i>insect-proof</i> sur les éventuelles ouvertures au faîtage | S minimale : 600 m ² l : 15 à 19,20 m h : 2,50 à 4 m | 22 à 25 |
| Serre multichapelle | Toit en arc <i>Insect-proof</i> côté et devant, bâche ailleurs Toile <i>insect-proof</i> sur les ouvertures au faîtage | S minimale : 800 m ² l : 6 à 8 m par chapelle h : 2,50 à 4 m | 26 |
| Structure rigide à pieds droits | | | |
| Serre multichapelle anti-cyclonique | Toit pointu Ondex® PVC ou polycarbonate | S : 500 à 3 000 m ² l : 6,40 m h : 2,50 à 4,65 m | 50 à 90 |



Protection contre la pluie

En zone tropicale, les pluies violentes provoquent des dégâts directs sur les cultures de plein champ et favorisent les épidémies de nombreuses maladies bactériennes et fongiques. C'est une des principales raisons qui ont contribué au développement des cultures sous abri. Le matériau de couverture des abris doit donc être résistant aux fortes intensités — 50 mm/h ou plus.

Température, altitude et films de polyéthylène

Certains films de polyéthylène dit « EVA » (polyéthylène vinyle acétate) sont intéressants pour les serres en basse altitude (zones des « bas ») parce qu'ils réfléchissent une partie du rayonnement infrarouge, ce qui diminue la quantité d'énergie entrant dans la serre et donc la température intérieure.

En altitude (zones des « hauts »), la couverture en polyéthylène simple est la plus adaptée. Et il ne faut pas oublier de fermer les serres en fin de journée, jusqu'à la remontée de la température extérieure le lendemain matin.

Humidité de l'air dans l'abri

La transpiration et les échanges gazeux de la plante dépendent de l'humidité de l'air.

Si l'humidité de l'air est très faible (atmosphère sèche, humidité inférieure à 40 %), la transpiration de la plante augmente et les quantités d'eau perdues peuvent alors être supérieures à l'irrigation. Dans ce cas, le déficit d'alimentation en eau entraîne la fermeture des stomates et le ralentissement de la photosynthèse. Si la situation se prolonge au-delà de 24 heures, les feuilles se fanent, la croissance ralentit et la nécrose apicale peut apparaître sur les fruits.

Si l'humidité de l'air est forte (supérieure à 80 %) et si elle se prolonge au-delà de 24 heures, la plante ne transpire pas assez : les mouvements de l'eau et le transport des nutriments dans la plante sont alors réduits. Des déficiences apparaissent et la croissance est ralentie. De plus, c'est aussi un facteur de développement des maladies fongiques et bactériennes.

Le film polyéthylène à basse densité est le matériau le plus répandu à La Réunion.

Sa résistance dépend en partie de son épaisseur. Une épaisseur supérieure à 180 µm est recommandée, pour une durée de vie d'environ trois ans en place. Les plastiques plus fins ont une longévité de l'ordre d'une année.

Certains agriculteurs se sont orientés vers des serres fermées recouvertes d'une tôle en polycarbonate. Le coût élevé de ce matériau thermoplastique est compensé par sa longévité (10 à 20 ans) lorsqu'il est associé à un revêtement anti-ultraviolet. Ce type d'abri a surtout l'avantage de supprimer les interventions spécifiques en cas d'alerte cyclonique (voir plus loin *Résistance aux vents cycloniques*).

Maîtrise du climat sous serre

Sur l'île de La Réunion, le climat tropical et l'altitude sont des contraintes pour les cultures



maraîchères, notamment la tomate. La maîtrise du climat sous la serre est donc un facteur clé de la réussite.

Dans les bas de l'île — jusqu'à 400 m d'altitude environ. En été (janvier à mars), s'il n'y a pas de système de régulation intérieure, les températures dans l'abri peuvent très vite monter à cause de « l'effet de serre ». A partir de 28 °C, la photosynthèse de la tomate décroît et au-dessus de 30 °C le rendement baisse. Quelques heures par jour entre 35 et 40 °C suffisent à compromettre la production.

Dans les hauts de l'île — entre 400 et 1 200 m d'altitude environ. Ce sont les basses températures de l'hiver austral (juin à août) qui gênent la culture de tomate, qu'elle soit sous abri ou en plein air. La photosynthèse décroît dès que la température devient inférieure à 12 °C. La température nocturne peut même descendre jusqu'à 5 °C, voire 0 °C : le développement des plantes est alors très ralenti et les apex peuvent être détruits.

Gestion des fortes chaleurs en basse altitude

Pour diminuer la température sous l'abri, trois techniques peuvent être appliquées :

– **l'aération**, qui est le moyen le plus simple et le plus économique, c'est-à-dire le renouvellement de l'air chaud intérieur par l'air extérieur plus frais. Cette ventilation peut être statique ou dynamique. La température intérieure ne descend pas en dessous de la température extérieure ;

© S. Simon



Tunnel ouvert avec ombrière.



- le **cooling**, la **brumisation** ou la **nébulisation** permettent de réduire la température intérieure en dessous de la température extérieure. Leur principe repose sur l'exploitation des propriétés thermodynamiques de l'eau lors de son passage de l'état liquide à l'état gazeux : en utilisant de l'énergie, cette transformation fait diminuer la température ;
- les **films**, les **écrans** et le **blanchiment** réduisent aussi l'échauffement de l'air sous l'abri en limitant la pénétration du rayonnement lumineux. La température intérieure ne descend pas en dessous de la température extérieure.

Aération par ventilation statique (figure 3). Des ouvertures permettent les mouvements naturels de l'air par convection. Leur efficacité dépend de la hauteur de la serre — plus une serre est haute, plus elle est ventilée par un effet cheminée —, et du nombre et de la dimension des ouvertures. Celles-ci peuvent être latérales ou situées au faîtage. L'ouverture au faîtage est le meilleur système, à raison d'une ouverture par chapelle faite sur toute la longueur de la serre. Quand il n'y a pas d'ouverture au faîtage, les parois latérales doivent être les plus ouvertes possibles tout en conservant une bâche jusqu'à un mètre au-dessus du sol qui limite l'entrée de la pluie sous la serre (c'est la « jupe » de la figure 3). Les parois latérales peuvent aussi être constituées d'une bâche qui est enroulée par temps sec et déroulée par temps pluvieux.



Ouvrants au faîtage.

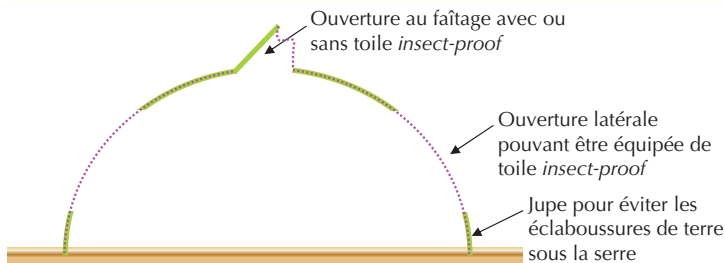


Figure 3. La ventilation statique par ouvertures.

Aération par ventilation dynamique. Elle concerne uniquement les serres fermées. Le renouvellement de l'air est assuré par des ventilateurs

placés sur une des façades de la serre et par des ouvertures aménagées sur la façade opposée. Ces ventilateurs fonctionnent comme des extracteurs d'air intérieur : ils créent une dépression à l'intérieur de la serre qui provoque l'entrée d'air extérieur plus frais par les ouvertures placées à l'opposé. Un thermostat placé au centre de la serre déclenche les ventilateurs à une température seuil définie par l'agriculteur. La température obtenue s'abaisse au niveau de celle de l'extérieur seulement si les conditions suivantes sont respectées :

- des ventilateurs de type hélicoïdal à grandes pales brassant un grand volume d'air sans entraîner de brusques déplacements de celui-ci ;
- un nombre de ventilateurs permettant d'obtenir un renouvellement de l'air égal à 40 à 80 fois le volume de l'abri par heure (voir exemples de calcul en encadré).

L'inconvénient principal est le risque de panne : la température peut alors s'élever très vite dans l'abri fermé. Il faut pouvoir intervenir rapidement avec un groupe électrogène pour pallier les coupures de courant ou avec un moteur de rechange en cas de panne mécanique.

Exemples de calcul de ventilation dynamique

- Serre simple, 500 m² (S), hauteur au faîtage (h) 4 m

$$\text{Volume de la serre, } V = S \times h = 2\,000 \text{ m}^3$$

Renouvellement de l'air à 40 fois le volume : 80 000 m³,
soit 4 ventilateurs de 20 000 m³/h chacun

Renouvellement de l'air à 80 fois le volume : 160 000 m³,
soit 4 ventilateurs de 40 000 m³/h chacun

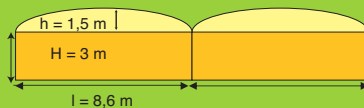
- Serre de 500 m², hauteur au faîtage 4,5 m, avec 2 chapelles en demi-lune (figure 4)

Largeur (l) 8,6 m, hauteur à la base de la demi-lune (H) 3 m, hauteur de la demi-lune (h) 1,5 m, longueur (L) 29 m

$$\text{Volume de la serre } V = (A + B) \times L = 2\,090 \text{ m}^3$$

Renouvellement de l'air à 40 fois le volume : 83 600 m³,
soit 4 ventilateurs de 21 000 m³/h chacun

Renouvellement de l'air à 80 fois le volume : 167 200 m³,
soit 4 ventilateurs de 41 800 m³/h chacun



A, aire de l'ovale de largeur 8,6 m et de hauteur 2 x h

$$A = \pi \times (8,6 \times 3) / 4, A \approx 20 \text{ m}^2$$

B, aire du rectangle de base des 2 chapelles

$$B = 2 \times l \times H = 2 \times 8,6 \times 3, B \approx 52 \text{ m}^2$$

Figure 4. Serre à deux chapelles en demi-lune :
calcul des aires en coupe.



Système du cooling. C'est une ventilation dynamique couplée à un système de refroidissement de l'air par une façade cartonnée alimentée en eau froide. Dans l'abri, la température devient plus fraîche que la température extérieure. Le couplage de la ventilation à l'augmentation de l'hygrométrie en fait le système le plus performant pour réduire la température dans les serres de longueur inférieure à 30 m. Toutefois, cette méthode n'est efficace que si l'atmosphère sous la serre est suffisamment sèche — humidité relative inférieure à 60 % — pour permettre une évaporation de l'eau. Son utilisation la plus performante est obtenue dans les régions désertiques. Pour La Réunion, son efficacité est meilleure sur la côte ouest, au climat semi-aride. Il faut prévoir une possibilité d'intervention rapide en cas de panne ou de coupure d'alimentation électrique. De plus, le cooling est une technique coûteuse en investissement et en énergie.

Brumisation. Un réseau d'asperseurs est installé au-dessus des plantes. Des buses à faible débit, avec une pression de 3 à 4 bars, produisent des gouttelettes fines (diamètre 20 à 100 µm) dont l'évaporation fait diminuer la température de la serre. L'inconvénient de la brumisation est de créer une pluie fine qui retombe sur la plante. Ce mouillage du feuillage crée des conditions propices au développement de certaines maladies favorisées par les atmosphères humides (botrytis, oïdium, gale bactérienne à *Xanthomonas* spp).

*Coûts comparés
entre le système
de cooling et
la ventilation dynamique*

En altitude (zone des « hauts »), le système de ventilation dynamique avec des extracteurs d'air pour assécher l'humidité ambiante sous abri est bien adapté. En basse altitude (zone des bas), on peut envisager le système de cooling, pour augmenter l'humidité ambiante et refroidir l'air sous abri. Le tableau 4 donne les coûts comparatifs.

Tableau 4. Coûts du système cooling et de la ventilation dynamique (euros hors taxes).

| Système | Coût* | Exemples |
|-----------------------|--------------------------|--|
| Ventilation dynamique | 2,68 € HT/m ² | Pour 1 000 m ² : - 3 extracteurs d'air, coût unitaire 500 € - 1 sonde température (400 €) - 1 thermostat (280 €) - installation (500 €) - Frais d'électricité pour 1 000 m ² 150 €/mois |
| Cooling | 20 € HT/m ² | Pour 1 500 m ² : - 8 extracteurs d'air + 1 station climatique + installation : 30 000 € (sans frais d'électricité) |

* hors frais d'électricité



Nébulisation fine (fog system). La nébulisation fine n'a pas les inconvénients de la brumisation. Les gouttelettes sont produites par des buses de débit plus faible — moins de 7 l/h avec une pression de 30 à 70 bars. Les gouttelettes sont si fines (diamètre inférieur à 10 μm) qu'elles s'évaporent avant d'atteindre les plantes, sans mouiller leur feuillage.

Bâche constituée d'un film thermique en polyéthylène vinyle acétate (EVA) pour une couverture anti-chaueur. Ce film de couverture réfléchit les longueurs d'onde de l'infrarouge court, qui correspond à la partie du spectre solaire non utilisé par la plante et ne produisant que de la chaleur. Au moment le plus chaud de la journée, ce film permet de diminuer la température sous serre de 5 à 6 °C par rapport à une couverture en polyéthylène simple.

Ecrans thermiques. Les écrans thermiques sont placés à l'intérieur de la serre, au-dessus des plantes, dans le but de renvoyer une partie du rayonnement solaire. Ils sont constitués de bandes de toile, tissée ou non tissée, ou de matière plastique, dont la face externe est recouverte d'aluminium (face placée vers le ciel). Ces bandes ont une faible émissivité, une forte réflexion et une transmission nulle. La température diurne de la serre est régulée mais la température nocturne de la serre est augmentée. Il faut alors veiller à conserver une amplitude thermique suffisante pour le développement du plant, idéalement 5 à 10 °C entre la moyenne des températures diurnes et nocturnes, en modulant l'ouverture des abris.

Blanchiment. En période chaude, il est conseillé de blanchir la face extérieure des bâches en plastique car cela limite la pénétration de l'énergie lumineuse sous la serre. On peut utiliser de la chaux ou des produits spécifiques de blanchiment ayant une bonne résistance à la pluie. Cette technique a toutefois des limites : les jours

*Les écrans
thermiques
ne sont pas adaptés
à La Réunion*

La pose d'écrans réduit la hauteur utile de la serre, et oblige donc à prévoir une hauteur de structure plus élevée, ce qui peut nuire à la protection par rapport aux vents cycloniques — voir plus loin *Hauteur de la serre* : le bon compromis se situe vers 4 m au faitage, sachant que la culture atteint 2,5 m de haut et que le fil de palissage est tendu à 3 m de haut. Ces écrans sont chers et compliqués à utiliser. Leur utilisation impose une automatisation complète de la gestion du climat de la serre. De plus, la tomate ayant besoin de beaucoup de lumière, ces écrans ont tendance à faire « filer » les plants (essais conduits en Martinique).



pluvieux, il faudrait enlever le produit et badigeonner à nouveau la serre les jours ensoleillés, ce que l'on ne fait jamais ! Pour éviter cet inconvénient, il existe dans le commerce des produits qui deviennent translucides lorsqu'ils sont mouillés ; mais il faut des diluants spécifiques pour les enlever, ce qui augmente le coût de l'installation et la pollution de l'environnement. En revanche, le blanchiment des armatures à la peinture est fortement recommandé parce que cela diminue l'échauffement du métal et, de ce fait, la dégradation de la couverture en bâche plastique. Cette pratique permet de prolonger la durée de vie de la couverture de la serre.

Gestion de la fraîcheur en altitude

Le plus important est de fermer entièrement l'abri dans l'après-midi, dès 15-16 h quand la température devient fraîche, et de l'ouvrir progressivement le matin vers 8-9 h quand la température extérieure devient plus favorable (20 à 22 °C).

L'installation d'un chauffage d'appoint est une solution complémentaire pour pallier la chute des températures nocturnes. L'emploi d'un chauffage par génération d'air pulsé a été testé avec succès lors d'une expérimentation menée par l'ARMEFLHOR à 1 600 m d'altitude. Le fonctionnement est commandé par un thermostat. Sur le plan économique, il faut intégrer le coût lié à la dimension du matériel de chauffage (fonction de la surface des serres) et à la consommation en carburant (qui dépend des seuils de température et du calendrier de culture).

Le meilleur compromis climatique

A l'échelle de l'île, le choix technico-économique plus rationnel serait de favoriser la culture hivernale en basse altitude et la production estivale dans les hauts de l'île. Mais cela implique une organisation professionnelle plus structurée qu'elle ne l'est actuellement.

Résistance aux vents cycloniques

Trois stratégies sont envisageables pour protéger la culture des vents cycloniques (tableau 5) :



– **la structure rigide.** Planter une structure à résistance maximale avec une couverture en polycarbonate, pouvant supporter des rafales de plus de 120 km/h. Toutefois, l’armature de l’abri ne doit pas être trop épaisse afin que la lumière pénètre correctement. La structure doit être renforcée et le mode de fixation de la couverture doit aussi être adapté ;

– **le débâchage rapide.** Pour les serres en bâche plastique, un système de débâchage rapide avec couchage des plants en cas d’alerte cyclonique peut être choisi. Il existe divers systèmes d’enroulement latéral des bâches à l’aide de manivelles. La structure est alors ouverte au vent et les rouleaux de bâche solidement amarrés au sommet de l’abri. Le système de débâchage rapide doit être complété par des renforcements de l’armature afin d’éviter toute déformation de la structure — câbles reliant le sommet des chapelles à la base des poteaux, à la verticale des gouttières (figure 5) ;

– **le sacrifice des bâches.** Pour les serres en bâche plastique, on peut sacrifier les couvertures en coupant les bâches (stratégie courante). Cette décision est risquée puisqu’elle n’est prise qu’après confirmation du risque cyclonique pour le site et qu’il faut avoir le temps de couper rapidement toutes les bâches. Néanmoins, le cyclone peut finalement changer de direction à la dernière minute. Dans ce cas, aucune indemnisation de l’assurance ne sera possible sauf si l’état de « catastrophe naturelle » est déclaré.

Tableau 5. Comparaison des trois stratégies de protection.

| Structure rigide | Débâchage rapide | Sacrifice des bâches |
|---|--|---|
| Investissement élevé | Investissement moyen | Investissement faible |
| Aucune intervention en cas d’alerte | Enroulement des bâches et couchage des plants en cas d’alerte | Découpe rapide des bâches au sabre |
| Aucune conséquence sur les plantes : la culture continue après le cyclone | Les plants étant couchés, la culture est endommagée mais peut reprendre après le cyclone | La culture est entièrement perdue après le passage du cyclone |
| Si le cyclone se détourne : aucune conséquence | Si le cyclone se détourne, la culture reprend mais il faut relever les plants | Si le cyclone se détourne, la culture reprend mais il faut rebâcher les abris |

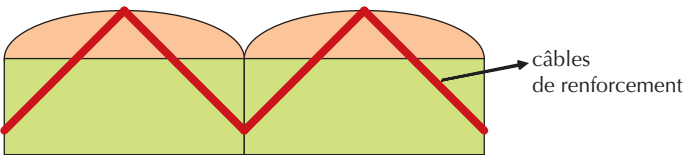


Figure 5. Renforcement des armatures.



Hauteur de l'abri

A La Réunion, la hauteur optimale d'un abri est de 4 m. Ce calcul résulte d'un compromis entre quatre contraintes :

- obtenir des fruits de qualité. Le plant de tomate mesure en moyenne 2,5 m entre l'apex et les premiers fruits récoltables. Si les fruits touchent le substrat, ils peuvent s'altérer. C'est pourquoi **le fil de culture, qui soutient les ficelles de palissage, doit se situer au moins à 3 m au-dessus du sol** (voir plus loin De l'entretien de la culture à la fin d'un cycle). Si ce fil est placé un peu plus haut, cela permet d'espacer les opérations de palissage des plants ;
- favoriser le développement et la nouaison des apex. Les apex ne doivent pas se trouver trop près de la zone chaude située au sommet de l'abri. **Le faîtage de la serre doit se situer à plus de 1 m au-dessus du fil de culture ;**
- faciliter la gestion du climat de la serre. Un grand espace au-dessus des plants permet des aménagements améliorant l'aération ;
- minimiser le risque cyclonique. Il faut améliorer la résistance aux vents en réduisant la hauteur de l'abri ou en renforçant la structure en conséquence. **Le meilleur compromis sans renforcement est de 4 m au faîtage.**



Cooling. © S. Simon



Contrôle de la température.



Serres blanchies pour limiter la densité lumineuse.



Particularité : la pépinière

La production de plants de tomate est une phase clé de la réussite de la culture. Aujourd'hui, les pépiniéristes agréés s'engagent à respecter la certification relative à la production de plants de cultures légumières. A La Réunion, cette certification est assurée par l'ARMEFLHOR, qui est l'organisme officiellement désigné par le Service officiel de contrôle (SOC) pour le contrôle et la certification des plants de légumes et de fraisiers, des boutures de vanille et des semences. De plus en plus de producteurs de tomate hors sol préfèrent se fournir auprès de ces pépinières. Seules les exploitations agricoles de taille importante peuvent justifier d'une pépinière, dont les exigences de confinement sont bien supérieures aux serres de production.

L'équipement de la serre de pépinière et la mise en œuvre d'une prophylaxie rigoureuse doivent être très soignés (tableau 6), afin que les jeunes plants ne soient pas contaminés par les pathogènes et les ravageurs présents sur les cultures en place.

Le transfert des jeunes plants vers la serre de production se fait en général entre octobre et avril, qui est la période des cyclones (à cette période, il est moins pénalisant de perdre une jeune culture qu'une serre en pleine production).

Tableau 6. Les caractéristiques d'une serre pépinière.

| | |
|---|--|
| Situation géographique dans l'exploitation | La serre pépinière ne doit pas être située sous le vent des serres de production (figure 1), afin d'éviter les infestations par les ravageurs et les agents pathogènes, qui peuvent être véhiculés par le vent |
| Protection maximale vis-à-vis des insectes | La serre pépinière sera autant que possible étanche à ces ravageurs (<i>insect-proof</i>) : installation de toiles à mailles fines aux ouvertures et d'un sas à l'entrée Si la serre n'est pas totalement étanche : placer au-dessus des plants des abris insect-proof constitués d'une toile à mailles très fines fixée sur des cadres en cornières ou en fers à béton |
| Aménagement intérieur | Pour s'affranchir des parasites du sol (nématodes, maladies fongiques et bactériennes), les supports des plants (sachets, godets, plaques alvéolées ou pots) sont posés sur un sol en béton ou sur des tablettes surélevées Ces installations sont régulièrement désinfectées |
| Couverture du sol | Si le sol n'est pas en béton, un paillage plastique opaque permet d'éviter le développement d'adventices et la contamination du flétrissement bactérien par projection de terre |
| Système de fertilisation | Il doit pouvoir être modifié en cours d'élevage des plants |
| Système de régulation du climat | Ventilation dynamique, brumisation, écran thermique, etc. |



Principales mesures de prévention contre les adventices, les ravageurs et les maladies

Ce chapitre explique les mesures prophylactiques générales. Nous y parlons de la prophylaxie à l'extérieur et à l'intérieur des serres, sur l'ensemble du cycle de culture. Toutes les mesures décrites ont pour but de réduire l'incidence des réservoirs d'organismes nuisibles et d'éviter leur introduction et leur dissémination. Les parties 7 et 8 de ce guide (*Principes de protection phytosanitaire* et *Principaux problèmes phytosanitaires*) expliquent la protection intégrée, les bonnes pratiques des traitements phytosanitaires et la reconnaissance des principaux ravageurs et maladies.

Recommandations sanitaires de l'ARMEFLHOR

En 2007, l'ARMEFLHOR et ses partenaires de La Réunion ont fait le point des pratiques sanitaires en culture hors sol de la tomate, en référence notamment au flétrissement bactérien. Ces recommandations, indispensables et très documentées, sont consignées dans l'ouvrage de A. Cariglia (2007) *Lutte préventive contre le flétrissement bactérien en culture de tomate hors sol* ; état des connaissances et conseils, 148 pages, édité par le Pôle de protection des plantes et diffusé par l'ARMEFLHOR, Saint-Pierre, La Réunion. Ce document est également disponible sur le site Internet < <http://www.armeflhor.fr> >.

Extérieur des serres

A l'extérieur des serres, certaines plantes hôtes sensibles (cultures et adventices) sont des réservoirs d'organismes nuisibles. Plusieurs solutions sont possibles pour limiter leur présence.

Le contrôle des adventices dans les espaces non utilisés est la première étape de la prophylaxie phytosanitaire de l'exploitation. Les adventices sont souvent des plantes hôtes de ravageurs (aleurodes, thrips, pucerons, eux-mêmes parfois vecteurs de virus) et de maladies (botrytis, oïdium...). Les désherbages doivent être réguliers car les ravageurs recolonisent rapidement les repousses. Ils doivent être réalisés dans le respect de la législation — arrêté sur les zones non traitées (ZNT) du

12 septembre 2006 — qui vise notamment à éviter l'entraînement des produits vers les habitations, les points d'eau ou les bâtiments d'élevage proches des serres.

La meilleure stratégie est cependant l'implantation entretenue de végétaux monocotylédones, comme la trainasse (*Cynodon dactylon*), la canne fourragère (*Panicum maximum*), la citronnelle (*Cymbopogon citratus*), le vétiver (*Vetiveria* sp.). Ces espèces abritent peu d'insectes et ont aussi l'intérêt de retenir le sol contre l'érosion.

Protection contre l'introduction d'insectes

Les moyens de prévention des infestations d'insectes sont uniquement physiques. Il s'agit de rendre les abris étanches et de veiller au bon état sanitaire de leur environnement :

- choix de l'emplacement des serres sur l'exploitation ;
- installation de brise-vent ;
- désherbage autour des serres et à l'intérieur des serres ;
- pose de filets de protection : toile *insect-proof* sur les ouvertures des abris ;
- aux entrées et aux ouvrants de la serre, pose de panneaux jaunes englués pour détecter l'arrivée d'aleurodes, de mouches mineuses et de pucerons, panneaux bleus pour les thrips, en veillant à les remplacer régulièrement ;
- désinfection des paillages plastiques.

L'étanchéité des serres est recommandée pour lutter contre l'aleurode *Bemisia tabaci*, vecteur du TYLCV (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*). Son mode de transmission du virus est persistant et, à La Réunion, il y a peu de

Proximité de canne à sucre et d'autres cultures

A La Réunion, la plupart des exploitations maraîchères se trouvent à proximité d'un champ de canne à sucre. Attention au désherbage sur canne effectué au 2,4D : cet herbicide est très volatil et il est toxique pour la tomate. Il faut fermer les serres pendant son application sur les champs alentour.

D'autres plantes légumières ou ornementales cultivées près des serres sont souvent des réserves de parasites susceptibles d'infester rapidement la culture.

Dans la même serre, il faut éviter la culture de plusieurs espèces maraîchères ou la pratique de cycles décalés de tomate.

Filets : prévoir de grands ouvrants et une ventilation plus forte

La pose de filets provoque un certain confinement : la température et l'humidité de l'air augmentent. Cela modifie considérablement le fonctionnement de la culture. C'est pourquoi les surfaces d'ouvrants doivent être plus larges et la ventilation forcée surdimensionnée.



variétés de tomates résistantes ayant les qualités commerciales recherchées par le marché local. L'étanchéité est assurée par la pose de filets à mailles fines (800 μm x 200 μm) sur toutes les ouvertures d'aération. Cette pose est complétée par la création d'un sas à l'entrée (voir plus loin, *Entrée de la serre*, figure 6).

Protection du sol

Le sol peut être un réservoir d'organismes nuisibles. Il s'agit de reconnaître et d'éliminer les foyers de maladies (*Fusarium* spp., *Verticillium* spp., *Pythium* spp., *Ralstonia solanacearum*...) et de ravageurs (nématodes, chenilles terricoles...). En culture hors sol, les règles sont les suivantes :

- isoler la culture du sol ;
- utiliser des substrats indemnes d'organismes nuisibles (tableau 7).
- stocker les substrats sur bâche dans des lieux clos.

Entrée de la serre

L'entrée de la serre est un lieu d'introduction d'organismes nuisibles. Plusieurs parades sont possibles (figure 6).

Pédiluve et grattoir. Il est fortement conseillé de placer un grattoir et un bac de faible profondeur (pédiluve) contenant une solution désinfectante. Le personnel doit y tremper les semelles pour éviter l'introduction de terre contaminée par les parasites (notamment par *Ralstonia solanacearum*, bactérie responsable du flétrissement bactérien). Les visites

Tableau 7. Principaux ennemis et maladies conservés dans le sol.

| Maladies | Ravageurs |
|--|---|
| Champignons <i>Pythium</i> spp. : fonte de semis, dépérissement et pourriture <i>Phytophthora</i> spp. : fonte de semis, mildiou et pourriture <i>Rhizoctonia solani</i> : fonte de semis et pourriture <i>Fusarium oxysporum</i> : fonte de semis, flétrissement et pourriture <i>Verticillium</i> spp. : flétrissement <i>Didymella lycopersici</i> : dépérissement | Ravageurs occasionnant des dégâts dans le sol Plusieurs espèces de nématodes à galles (<i>Meloidogyne</i> spp.) Chenilles terricoles (noctuelles terricoles) Vers blancs (larves de coléoptères) |
| Bactéries <i>Ralstonia solanacearum</i> : flétrissement bactérien | Ravageurs de dégâts aériens présents dans le sol Thrips (nymphes) Mouches mineuses (pupes) Mouches des fruits (pupes) |



sont limitées aux seuls techniciens chargés de l'encadrement ou des contrôles officiels, et ils doivent suivre rigoureusement les règles d'accès. Dans le pédiluve, on peut placer un carré de mousse qui permet un passage rapide en ne mouillant que la partie inférieure de la chaussure. L'eau du pédiluve, ainsi que la mousse, doivent être renouvelées régulièrement.

Changement de chaussures. Pour le personnel, il peut être plus facile de changer de chaussures dans le sas d'entrée. On peut aussi utiliser des sur-chaussures (utilisées dans les hôpitaux) stockées à l'entrée de chaque serre : il faut alors opter pour des modèles épais et résistant aux déchirures.

Entrée gravillonnée. Par mesure de prophylaxie, il est conseillé d'éviter le sol nu devant les entrées des abris et d'y répandre des graviers.

Paillage plastique du sol de la serre. Les rouleaux de paillage plastique opaque et résistant font en général 6 m de large : il faut donc en dérouler deux pour couvrir le sol d'une serre. Le recouvrement des deux films doit être fait dans les allées, et non pas dans les canaux de drainage.

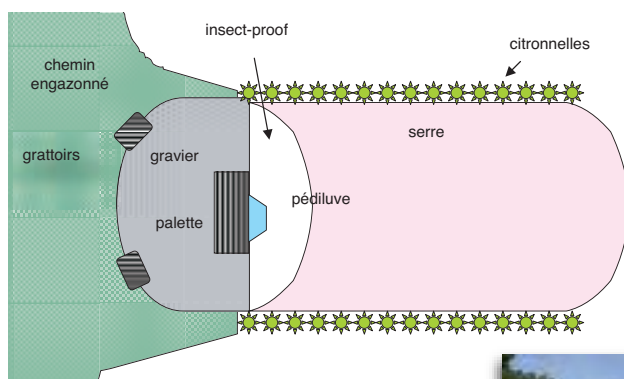


Figure 6.
Schéma d'une entrée de serre.



Paillage du sol.



Serre avec sas d'entrée.

© Photos S. Simon



© S. Simon



Chariot.

© Photos FDGDON



Echasses pour palissage.



*Désinfection de l'eau
par lampes à ultra violet.*



Caisses de récolte.



Sas d'entrée de la serre.



Eau : principales précautions

Mesures prophylactiques entre deux cycles de culture

- Désinfecter le réseau de goutteurs avec une solution acide (solution d'acide nitrique à 1 %, c'est-à-dire l'acide nitrique dilué dans l'eau à raison de 1 % du volume total de solution) puis rincer à l'eau claire.
- Laver les bacs à solution avec de l'eau acidifiée (solution d'acide nitrique à 1 %).

Qualité sanitaire de l'eau d'apport

Désinfecter l'eau d'irrigation car l'utilisation de citernes ou de l'eau de ruissellement pour l'arrosage de la culture est la principale source de contamination par le flétrissement bactérien. Pour cela, appliquer les recommandations de l'ARMEFLHOR (Cariglia, 2007) :

- eau de javel à 18 °Cl, 60 ppm pendant au moins 6 h de contact ;
- pastilles de chlore (chlore et dichloroisocyanure de sodium dihydrate), 60 ppm pendant au moins 1 à 2 h de contact ;
- utilisation de stérilisateurs à rayonnements ultra-violet.

Actions pour éviter l'introduction d'organismes nuisibles

- Surélever la culture.
- Couvrir les bacs de solution fertilisante et les réserves d'eau avec des couvercles ou des bâches plastiques.
- Vérifier les filtres et nettoyer régulièrement la station de fertilisation avec un simple jet d'eau ou bien en ajoutant un désinfectant (selon les recommandations de l'ARMEFLHOR).
- Lors de fortes pluies, canaliser les eaux de ruissellement pour éviter l'inondation de la serre.

Désinfection des eaux aux rayons ultra-violet

A La Réunion, le flétrissement bactérien, dû à la bactérie *Ralstonia solanacearum*, est une des principales difficultés parasitaires de la culture de la tomate. Cette bactérie est disséminée aussi bien par l'eau que par des contaminations de terre. L'agriculteur dispose de peu de moyens pour faire face à cette maladie. L'ARMEFLHOR a étudié avec précision l'emploi des stérilisateurs à rayonnement UV pour la désinfection de l'eau d'apport et de l'eau de drainage recyclée. Les résultats sont intéressants et la mise en œuvre est au point. Tous les détails sont dans l'ouvrage de Cariglia (2007) diffusé par l'ARMEFLHOR et également disponible sur le site Internet < <http://www.armeflhor.fr> >.



Intérieur de la serre aux différents stades de culture

En fin de culture

- Traiter la vieille culture en place en mouillant abondamment avec un acaricide et un insecticide à large spectre (24 heures avant l'arrachage pour une action de choc), éventuellement avec un fongicide en fonction de la nature des parasites présents en fin de cycle. Ce traitement a pour but de limiter la contamination des autres abris lors de la sortie de la végétation.
- Nettoyer et désinfecter les outils et tout le matériel de culture (caisse, godets, clips...) par trempage d'au moins une minute dans un désinfectant autorisé (alcool, eau de Javel..., selon les recommandations de l'ARMEFLHOR).
- Éliminer rigoureusement et rapidement tous les débris végétaux.
- Éliminer manuellement les adventices.
- Traiter la structure de la serre avec un acaricide et un insecticide, parce que le premier traitement sur la culture en place n'a pas forcément tout éliminé.

Pendant le vide sanitaire

- Effectuer un vide sanitaire d'au moins 15 jours avant la nouvelle plantation. Pendant ce temps, il est conseillé de fermer l'abri pour faire monter la température à l'intérieur, et provoquer ainsi l'éclosion plus rapide des pupes de mouches mineuses et des nymphes de thrips qui pourraient être présentes.
- Juste avant la mise en place de la nouvelle culture, il est préférable d'effectuer un nettoyage et une nouvelle désinfection soignée de la serre (structure et plastiques) avec un produit homologué pour cet usage.

A la mise en place

- Utiliser des semences ou des plants certifiés.
- Si les plants sont achetés chez un pépiniériste, le producteur doit



s'assurer que la pépinière est agréée par les services officiels et il doit aussi vérifier l'état sanitaire des plants qu'il reçoit. Les plants doivent être stockés à l'intérieur de la serre.

- Si les plants sont produits sur l'exploitation, le producteur doit être équipé d'une serre pépinière insect-proof avec sas à l'entrée.

En cours de culture

- Effeuillement régulièrement les plants pour limiter les foyers de ravageurs. Mais attention de ne pas éliminer trop d'auxiliaires issus d'introductions antérieures.
- Sortir et détruire les feuilles et tous les déchets végétaux.
- Éliminer rapidement les foyers (feuilles et fruits atteints, plantes malades).

Personnel : hygiène et déplacements

- Manipuler les plantes avec soin pour ne pas les blesser.
- Éviter toute intervention sur feuillage mouillé.
- Désinfecter régulièrement et fréquemment tout le matériel utilisé dans la serre (chariots, caisses de récolte...).
- Porter le plus souvent possible des gants.
- Se désinfecter les mains régulièrement et fréquemment.
- Affecter à chaque serre un jeu de matériel (sérateur...).
- Rationaliser les déplacements dans les abris et d'un abri à un autre :
 - commencer les opérations culturales par les serres saines (généralement les cultures les plus jeunes) ;
 - limiter les déplacements dans les serres contaminées ;
 - dans une serre contaminée, commencer par les parties saines.



© Photos S. Simon



Essais de différents substrats.



Sac de tourbe blonde.



Résidus de fibre de coco.



Scorie de charbon en pots.

Choix et préparation des substrats



© FDGDON

En culture hors sol, les substrats ont un rôle de support solide. Ils n'ont pas de rôle nutritionnel direct puisque l'intégralité de l'alimentation en eau et de la nutrition minérale est apportée par la solution nutritive. Le choix d'un substrat se fait donc en fonction de ses propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques.



Choix et préparation des substrats



Types de substrats à La Réunion

Dans les années 1980, les premiers producteurs de cultures hors sol ont introduit la technique de production en gouttière avec la pouzzolane, substrat local et bon marché, issu du volcanisme actif de l'île. Mais le système en gouttière a été

remis en cause du fait des risques de transmission accrus des maladies à l'ensemble de la culture. De plus, l'emploi de la pouzzolane a été interdit par la réglementation réunionnaise (l'arrêté préfectoral du 19 octobre 1998 a interdit l'extraction de la pouzzolane).

A partir des années 1990, le sac de tourbe blonde a fait son apparition. Ce substrat offre une bonne capacité de rétention en eau et permet de séparer les plantes en modules indépendants. Cette compartimentation est utile en cas de contamination par un ravageur ou une maladie car on peut éliminer le module infesté. La tourbe blonde est bien adaptée

aux conditions de culture réunionnaises et

les résultats agronomiques sont

corrects. Ces avantages ont

concouru à son utilisation dans

la plupart des exploitations

agricoles hors sol. La tourbe a

cependant un coût d'achat plus

élevé que la pouzzolane et elle

ne permet que deux cycles de

culture, alors que la pouzzolane

est réutilisable indéfiniment, sauf

en cas de contamination.

Actuellement, les fibres de coco sont

davantage utilisées que la tourbe,

du fait de leur plus grande souplesse

dans la conduite de la fertigation et

surtout parce qu'elles peuvent être

utilisées pendant plus de trois cycles

de culture.

Inconvénient de la pouzzolane

La pouzzolane est un substrat à très faible capacité de rétention en eau. Or, sur l'île, en particulier en saison chaude, les coupures d'eau sont assez fréquentes. Un substrat avec une bonne capacité de rétention en eau est préférable pour limiter les effets d'interruptions de l'irrigation.

Coût du substrat

Il n'y a pas de substrat idéal : les exigences économiques peuvent être prioritaires et conduire le producteur à un compromis en fonction de la culture et de la situation géographique. Le coût est un élément important qui inclut plusieurs facteurs :

- le prix d'achat, transport inclus ;
- la facilité de manutention et surtout d'installation dans la serre. En vrac ou conditionné prêt à l'emploi, le produit a un coût de main-d'œuvre très différent ;
- la facilité de stockage ;
- la réutilisation durant plusieurs cycles de culture ;
- le coût et les contraintes d'élimination après utilisation.



Enfin, un sous-produit local de centrale électrique, la scorie de charbon, s'est révélé être un substrat minéral adapté à la culture hors sol : moindre coût à l'achat, longévité de plusieurs cycles de culture et recyclage écologique.

Tourbe blonde

Importée des Pays-Bas, le sac de tourbe blonde a fait son apparition à La Réunion dans les années 1990. Mais, aujourd'hui, la tourbe est rarement utilisée pour la culture hors sol : on lui préfère la fibre de coco. Les avantages et les inconvénients de la tourbe sont résumés dans le tableau 8. Des analyses physico-chimiques sont données à titre indicatif au tableau 9.

Tableau 8. Avantages et inconvénients des sacs de tourbe blonde.

| Avantages | Inconvénients |
|--|---|
| Modules de 3 plantes (sacs de 15 l) ou de 6 plantes (sacs de 30 l) Simples à mettre en place Bon potentiel de production Bonne capacité de rétention en eau Bon rapport air/eau. | Approvisionnement et coût peu stables (du fait de la réglementation sur l'exploitation des tourbières européennes et la préservation des écosystèmes, qui complique l'approvisionnement et qui se répercute sur le prix du sac) Faible longévité, liée à sa dégradation (deux cycles de culture) Mauvaise capacité de réhumectation des sacs entre les cycles Risques d'asphyxie racinaire Propriétés physico-chimiques peu stables Consommation d'azote liée à l'humification |



Tomate variété Murano.



Tableau 9. Analyses physico-chimiques de la tourbe blonde (prélèvement non représentatif de l'ensemble du produit, CIRAD, 1998).

| Caractéristique | Valeurs mesurées en essai | Valeurs données dans la bibliographie | Observations |
|---|---------------------------|---------------------------------------|--|
| Capacité de rétention en eau (ml/l) | 579 | 500 à 800 | - |
| Capacité de rétention en air (ml/l) | 365 | 140 à 370 | Risque d'asphyxie racinaire |
| Masse volumique apparente sèche (matière sèche, g/l) | 88 | 50 à 200 | Masse volumique moyenne |
| Masse volumique réelle (matière sèche, g/l) | 1 573 | - | - |
| Porosité (ml/l) | 944 | 900 à 950 | Excellente |
| Analyse chimique | | | |
| Matière organique (g/100 g de matière sèche) | 89,3 | C/N = 50 | Rapport faible indiquant une évolution rapide du substrat |
| Azote total (g/kg de matière sèche) | 12,3 | - | - |
| Capacité d'échanges cationiques (CEC, meq/100 g de matière sèche)* | 73,1 | 90-120 | Bon pouvoir tampon |
| Cellulose (g/kg de matière sèche) | 316,9 | - | - |
| Hémicellulose (g/kg de matière sèche) | 319 | - | - |
| Lignine (g/kg de matière sèche) | 108,5 | - | - |
| Détermination sur extrait 1/1,5 | | | |
| Rapport volume d'extrait / matière sèche (ml/g) | 23,61 | - | - |
| pH | 4,8 | 4 à 7 | Très variable selon les marques |
| Conductivité (mS/cm à 25 °C)** | 1,538 | 0,6 | Correcte car voisine des valeurs souhaitées pour la culture de la tomate |
| Calcium (Ca, mg/l) | 150,50 | - | - |
| Magnésium (Mg, mg/l) | 57,58 | - | - |
| Potassium (K, mg/l) | 73,50 | - | - |
| Sodium (Na, mg/l) | 17,41 | - | - |
| Ammonium (NH ₄ , mg/l) | 8,00 | - | - |
| Phosphore (P, mg/l) | 6,62 | - | - |
| Nitrates (NO ₃ , mg/l) | 539,7 | - | - |
| Sulfates (SO ₄ , mg/l) | 260,40 | - | - |
| Chlorures (Cl, mg/l) | 3,07 | - | - |
| * meq : milliéquivalent | | | |
| ** mS/cm : milliSiemens par centimètre. La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à laisser se déplacer librement les charges électriques (donc les ions). | | | |

Faible stabilité

Avec un rapport C/N de 50, la tourbe est un substrat qui se dégrade rapidement et qui est peu stable dans le temps. La tourbe est sensible à l'humification de la matière organique.



Deux cycles successifs peuvent être effectués sans difficulté. Au cours des deux cycles, la capacité d'échanges cationiques diminue et le rapport air/eau se réduit. Le sac se tasse et devient plus asphyxiant.

Mise en place de la culture : gonflage des sacs

La tourbe est livrée déshydratée et doit être humectée avant utilisation : c'est ce qu'on appelle le gonflage des sacs. Afin de limiter la fixation des éléments minéraux par la tourbe et l'acidification observée en cours de cycle, ce gonflage est assuré au nitrate de chaux mis en solution (électro-conductivité : 1 mS/cm). Cela a pour effet de saturer le substrat avec les cations calcium (Ca^{++}), de libérer et de lessiver les cations sodium (Na^+) fixés auparavant sur le substrat et de favoriser la disponibilité ultérieure des autres cations (potassium, K^+ et magnésium, Mg^{++}). Il faut gonfler les sacs très lentement pour éviter la déstructuration de la tourbe, sinon elle perd ses qualités physiques (tableau 10).

Attention : les modules sont rigides au départ. Si on les casse à la mise en place sous la serre, ils gonflent moins bien : les fentes produites empêchent la circulation homogène de la solution nutritive et le développement des racines.

Fertigation

La solution d'apport sert à combler la consommation de la plante et à renouveler en partie la solution du substrat. Les sacs contenant environ 5 l de tourbe par plante, et la tourbe ayant une capacité de rétention en eau de 579 ml/l, la dose d'irrigation préconisée est de 225 à 350 ml par apport, soit 7 à 11 min par apport avec des goutteurs de débit de 2 l/h à une fréquence de 3 à 7 apports par jour. Avec des doses plus élevées, cette fréquence peut être réduite et adaptée aux conditions de climat et de culture.

Tableau 10. Exemple de gonflage des sacs de tourbe au nitrate de chaux en 5 jours, avec un apport le matin et un autre l'après-midi.

| Jours | Volume distribué par goutteur (l) | Volume cumulé par sac accueillant 3 plants (l) | Volume cumulé par sac accueillant 6 plants (l) |
|-----------------|-----------------------------------|--|--|
| 1 ^{er} | 0,1 | 0,3 | 0,6 |
| 2 ^e | 2 fois 0,1 | 0,9 | 1,8 |
| 3 ^e | 2 fois 0,3 | 2,7 | 5,4 |
| 4 ^e | 2 fois 0,3 | 4,5 | 9 |
| 5 ^e | 2 fois 0,5 | 7,5 | 15 |



Tourbe : le bon équilibre entre « collant » et « sec » !

Les irrigations trop longues ou trop rapprochées peuvent provoquer l’asphyxie des racines.

On considère couramment que la tourbe ne doit pas « coller » au doigt lors du déclenchement d’une nouvelle irrigation.

Mais la tourbe ne doit pas non plus se dessécher parce qu’il est très difficile de la réhumecter et parce que les éléments minéraux se concentrent (la conductivité est alors difficile à maîtriser).

Le contrôle du drainage permet de réévaluer cette fréquence d’irrigation. Afin de conserver une conductivité et un pH optimaux dans les sacs (2,0 mS/cm et pH de 5,8), le volume du drainage doit représenter 30 % du volume de la solution d’apport — tous les éléments apportés ne sont pas absorbés par la plante et, en l’absence de drainage, certains pourraient donc s’accumuler dans le sac et entraîner une augmentation de la salinité.

Fibres de coco

A La Réunion, deux types de fibres de coco sont disponibles, dont les matières premières sont importées du Sri Lanka, d’Inde et du Mexique :

- les fibres brutes, sous forme de bourres de coco broyées conditionnées en sacs, ou de fibres de coco brutes non broyées conditionnées en balles ;
- les résidus de fibres conditionnés en sacs de 30 l pour 6 plants (prix : 1,90 à 3 euros selon la quantité commandée). C’est la forme la plus utilisée, du fait de la régularité d’approvisionnement.

Les avantages et inconvénients des deux substrats sont résumés dans les tableaux 11 et 12. Des analyses physico-chimiques sont données à titre indicatif au tableau 13.

Tableau 11. Avantages et inconvénients des fibres de coco brutes.

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| Pas besoin de gonflage | Substrat chargé qu’il faut bien lessiver |
| Peuvent être asséchées entre les cycles | Fabrication des sacs très contraignante pour les fibres brutes non broyées |
| Capacité d’échanges cationiques faible, moins d’interférence avec la solution | Substrat drainant, réserve en eau faible |
| Substrat drainant, faibles risques d’asphyxie racinaire | Rendements légèrement moindres que sur tourbe blonde |
| Coût d’achat plus faible que la tourbe blonde | |



Tableau 12. Avantages et inconvénients des résidus de fibres de coco.

| Avantages | Inconvénients |
|--|--|
| Réhumectation meilleure que la tourbe blonde et moindre tassement au fil du temps Bonne réserve en eau Mise en place simple Bon potentiel de production N'ont pas les inconvénients de conditionnement des fibres de coco brutes | Gonflage au nitrate de chaux Capacité d'échanges cationiques forte, interférence importante avec la solution nutritive Risque de blocage en fer et calcium Risques d'asphyxies racinaires Assez forte tendance à l'acidification |

Tableau 13. Analyses physico-chimiques des différentes fibres de coco (prélèvement non représentatif de l'ensemble du produit, CIRAD, 1998).

| Caractéristiques | Résidus de fibre de coco (Kokobread®) | Fibres de coco brutes | |
|---|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | Bourre de coco broyée (Cocosol®) | Fibres de coco brutes non broyées |
| Capacité de rétention en eau (ml/l) | 632 | 286 | 261 |
| Capacité de rétention en air (ml/l) | 314 | 678 | 698 |
| Masse volumique apparente sèche (matière sèche, g/l) | 88 | 55 | 66 |
| Masse volumique réelle (matière sèche, g/l) | 1 629 | 1 522 | 1 601 |
| Porosité (ml/l) | 946 | 964 | 959 |
| Analyse chimique | | | |
| Matière organique (g/100 g de matière sèche) | 81,8 | 96,7 | 85,4 |
| Azote total (g/kg de matière sèche) | 6,2 | 8,7 | 8,5 |
| Capacité d'échanges cationiques (CEC, meq/100 g de matière sèche)* | 65,6 | 50,4 | 40,4 |
| Cellulose (g/kg de matière sèche) | 311,5 | 402,7 | 326,4 |
| Hémicellulose (g/kg de matière sèche) | 71,4 | 107,2 | 121,5 |
| Lignine (g/kg de matière sèche) | 413,6 | 405,6 | 367,5 |
| Détermination sur extrait 1/1,5 | | | |
| Rapport volume d'extrait / matière sèche (ml/g) | 24,26 | 32,45 | 26,68 |
| pH | 6,1 | 5,3 | 5,6 |
| Conductivité (mS/cm à 25 °C)** | 0,309 | 0,265 | 0,982 |
| Calcium (Ca, mg/l) | 3,18 | 7,84 | 18,86 |
| Magnésium (Mg, mg/l) | 0,46 | 3,46 | 10,07 |
| Potassium (K, mg/l) | 42,05 | 25,00 | 117,45 |
| Sodium (Na, mg/l) | 15,07 | 6,92 | 58,37 |
| Ammonium (NH ₄ , mg/l) | 2,86 | 1,79 | 9,18 |
| Phosphore (P, mg/l) | 5,16 | 5,88 | 5,85 |
| Nitrates (NO ₃ , mg/l) | 16,13 | 36,67 | 156,45 |
| Sulfates (SO ₄ , mg/l) | 65,40 | 33,60 | 118,60 |
| Chlorures (Cl, mg/l) | 17,50 | 2,83 | 60,00 |
| * meq : milliéquivalent | | | |
| ** mS/cm : milliSiemens par centimètre. La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à laisser se déplacer librement les charges électriques (donc les ions). | | | |



Propriétés physiques : assez comparables à la tourbe blonde

- Bonne porosité (95 %)
- Très bonne capacité de rétention en eau : supérieure à 600 ml/l de substrat
- Aération correcte mais pas excellente

Propriétés chimiques

- Substrats non inertes : capacité d'échanges cationiques (CEC) élevé
- Eléments minéraux en concentrations fortes dans les sacs avant utilisation : Cl^- , Na^+ et K^+ . Nécessite un lessivage avant mise en culture
- pH correct

Bonne stabilité

Les substrats de fibres de coco possèdent une bonne stabilité structurale qui leur permet de supporter aisément deux cycles de culture consécutifs. Un troisième cycle est possible sur résidus de fibre de coco, mais plus risqué sur bourre de coco.

Conditionnement difficile des fibres brutes

Attention : la fabrication des sacs à partir de fibres brutes non broyées livrées en balles de 100 l est difficile. Il faut briser les agglomérats de fibres, passer les fibres dans une défibreuse puis lessiver et conditionner en sacs pouvant accueillir 3 plantes.

Cette stabilité est liée au rapport C/N, variant de 110 à 220 : le fort taux de carbone entraîne une dégradation très lente (5 à 20 ans) car l'action des microorganismes sur la matière organique est ralentie.

Avec le temps, ces substrats ont toutefois tendance à se tasser et à devenir asphyxiants.

Mise en place de la culture sur fibres brutes non broyées

Les fibres brutes ne nécessitent pas de gonflage des sacs avant plantation. Cependant, il vaut mieux les rincer avec de l'eau, pour deux motifs :

- la forte hétérogénéité de salinité entre les sacs ;
- la richesse de ces substrats en chlorure, sodium, potassium.



Avant de d'effectuer les fentes de drainage, il faut remplir les sacs avec une solution de nitrate de chaux (conductivité : 1 mS/cm) pour saturer la capacité d'échange cationique du substrat par les ions calcium (Ca^{++}) et pour éviter les interactions ultérieures avec la solution nutritive.

Juste avant la plantation, les sacs sont lessivés avec la première solution nutritive qui sera utilisée à la plantation pour abaisser la conductivité à 2 mS/cm.

Mise en place de la culture sur résidus de fibres

Les sacs de résidus de fibres nécessitent un gonflage préalable avec une solution de nitrate de chaux (conductivité : 1 mS/cm). Le gonflage est assuré en 1 à 5 jours, en plusieurs apports, à raison de 500 ml de solution par sac et par apport. La dose totale varie selon le volume du sac :

- 7 à 10 l de solution pour les sacs de 3 plants (sacs de 15 l) ;
- 15 à 20 l pour les sacs de 6 plants (sacs de 30 l).

Le nitrate de chaux permet de limiter la fixation des éléments minéraux, en saturant le substrat avec des ions calcium (Ca^{++}). Il permet aussi de limiter l'acidification due aux éléments fertilisants en cours de culture.

Juste après le gonflage, la conductivité atteint assez souvent 8 à 11 mS/cm. Il faut alors lessiver les sacs avec la première solution qui sera utilisée à la plantation afin de ramener la conductivité à 2 mS/cm.

© photos S. Simon



Fibres de coco avant gonflage.



Après gonflage.



Fertigation

Pour conserver une conductivité correcte (valeur variable en fonction de la variété et du stade de la culture) et un pH voisin de 5,8 dans les sacs, le volume du drainage doit représenter 30 % du volume de la solution d'apport.

Fertigation sur fibres brutes broyées ou non broyées. La disponibilité en eau de ce substrat étant assez faible, les apports d'eau sont fréquents et à faibles doses. Avec une capacité de rétention en eau de 280 ml/l et un volume de 5 l de substrat par plante, la dose d'irrigation préconisée est de l'ordre de 100 ml par apport, soit 3 à 5 min par apport avec des goutteurs de débit de 2 l/h à une fréquence de 10 à 12 apports par jour. Il est difficile de gérer l'irrigation sur ce type de substrat avec une programmation horaire. La programmation assistée est plus adaptée (solarimètre, Startbac).

Fertigation sur résidus de fibre de coco. Avec une disponibilité en eau de 600 ml/l et un volume de 5 l de substrat par plante, la dose d'irrigation préconisée est comprise entre 225 et 350 ml par apport, soit 7 à 11 min par apport avec des goutteurs de débit de 2 l/h à une fréquence de 3 à 7 apports par jour. Avec des doses plus élevées, la fréquence d'irrigation peut être réduite et adaptée aux conditions de climat et de culture. Le contrôle du drainage permet de réévaluer la fréquence.



© S. Simon

Tomates sur pots de scorie.



Scorie de charbon brute

La CICM (Compagnie industrielle des cendres et mâchefers, centrale électrique du Gol) est le seul fournisseur à La Réunion. Elle propose la scorie de charbon brute et la scorie de charbon tamisée (0 - 10 mm). Seule la scorie de charbon brute est adaptée à la culture hors sol. Des analyses physico-chimiques sont données à titre indicatif au tableau 14.

Ce substrat est durable, disponible et bon marché (3 à 5 €/t, c'est le coût supplémentaire du transport qui est le plus cher). Son principal avantage réside dans son coût et dans sa production locale en grande quantité.

Ses caractéristiques physico-chimiques en font un substrat à priori moins performant que les substrats organiques. Il est cependant avantageux pour les producteurs qui souhaitent limiter l'investissement de départ.

Attention : pas de scorie de charbon tamisée en culture hors sol

La scorie tamisée n'est pas adaptée à la culture hors sol. En effet, le concassage de la scorie modifie les caractéristiques physiques (capacité de rétention en eau et en air) et les propriétés chimiques (le pH peut atteindre 11 à 12 après concassage). En culture, il est impossible de rectifier ce pH trop basique. La scorie tamisée présente en revanche un intérêt en horticulture ornementale : elle permet d'alléger les substrats des conteneurs et de les rendre plus drainants.



Pots de scorie.

© S. Simon



Tableau 14. Analyses physico-chimiques des scories de charbon brutes (prélèvement non représentatif de l'ensemble du produit, CIRAD, 1998).

| Caractéristique | Valeur mesurée |
|---|----------------|
| Capacité de rétention en eau (ml/l) | 276 |
| Capacité de rétention en air (ml/l) | 469 |
| Masse volumique apparente sèche (g matière sèche/l) | 625 |
| Masse volumique réelle (g matière sèche/l) | 2451 |
| Porosité (ml/l) | 745 |
| Analyse chimique | |
| Matière organique (g/100 g de matière sèche) | 10,6 |
| Azote total (g/kg de matière sèche) | 2,0 |
| Capacité d'échanges cationiques (CEC, meq/100 g de matière sèche)* | 1,5 |
| Cellulose (g/kg de matière sèche) | 10,0 |
| Hémicellulose (g/kg de matière sèche) | 313,2 |
| Lignine (g/kg de matière sèche) | 80,7 |
| Détermination sur extrait 1/1,5 | |
| Rapport volume d'extrait / matière sèche (ml/g) | 2,84 |
| pH | 7,5 |
| Conductivité (mS/cm à 25 °C)** | 4,790 |
| Calcium (Ca, mg/l) | 533,33 |
| Ca ⁺⁺ (meq/l) | 26,6 |
| Magnésium (Mg, mg/l) | 150,44 |
| Mg ⁺⁺ (meq/l) | 13,38 |
| Potassium (K, mg/l) | 481,89 |
| K ⁺ (meq/l) | 12,32 |
| Sodium (Na, mg/l) | 148,28 |
| Na ⁺ (meq/l) | 6,45 |
| Ammonium (NH ₄ , mg/l) | 1,79 |
| NH ₄ ⁺ (meq/l) | 0,1 |
| Phosphore (P, mg/l) | 0,44 |
| PO ₄ ⁻ (meq/l) | 0,01 |
| Nitrates (NO ₃ , mg/l) | 1073,02 |
| NO ₃ ⁻ (meq/l) | 17,31 |
| Sulfates (SO ₄ , mg/l) | 1090,90 |
| SO ₄ ⁻ (meq/l) | 22,73 |
| Chlorures (Cl, mg/l) | 86,06 |
| Cl ⁻ (me/l) | 2,42 |
| * meq : milliéquivalent | |
| ** mS/cm : milliSiemens par centimètre. La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à laisser se déplacer librement les charges électriques (donc les ions). | |



Stabilité élevée

La scorie de charbon brute est un substrat non organique qui a une stabilité et une longévité élevée. A La Réunion, l'ARMEFLHOR a conduit des expérimentations pendant 5 cycles de culture sans observer de baisse de rendement.

Mise en place de la culture

La scorie de charbon brute demande un temps d'installation plus long que les substrats organiques : il faut fabriquer les gouttières ou acheter des pots, qu'il faut ensuite remplir.

Le volume minimal est de 10 l de scorie par plante.

Les gouttières (ou bacs) doivent toujours être plus larges que hauts, pour éviter le dessèchement excessif de la partie supérieure du substrat (sec, il est inutilisable par les plantes). Pour conserver une bonne humidité dans la partie superficielle, il est conseillé de recouvrir la scorie d'un plastique biface — c'est un plastique ayant une face noire opaque dirigée vers le substrat pour limiter le développement des adventices, et une face blanche dirigée vers les plantes pour favoriser la diffusion de la luminosité sous la serre.

La longueur des gouttières ne dépasse pas 3 à 4 m pour éviter la dissémination des champignons ou des bactéries pathogènes sur toute la ligne de culture à partir de plants atteints.

A l'état brut, la scorie de charbon est riche en calcium et en sulfates, avec une conductivité de 1,25 mS/cm. Avant plantation, il faut donc la lessiver avec de l'eau acidifiée (solution d'acide nitrique à 1 %) puis avec la première solution nutritive qui sera utilisée à la plantation.

Inconvénient du système en gouttière longue

Lorsque la gouttière est continue sur toute la ligne de culture, elle accroît le risque de transmission des maladies dès qu'une petite partie du substrat a été contaminée. Prenons l'exemple du flétrissement bactérien, causé par la bactérie *Ralstonia solanacearum*, qui infeste de nombreuses terres à La Réunion. Cette bactérie, très difficile à combattre, peut être transmise par l'eau de ruissellement ou d'irrigation, les éclaboussures, l'homme (chaussures, sécateurs, etc.). Si les mesures prophylactiques ne sont pas respectées à l'intérieur de la serre, le flétrissement bactérien peut atteindre la culture hors sol. Si la bactérie contamine le substrat dans un système en gouttière, elle va très vite détruire tous les plants. Pour limiter ce genre de dégât, le conditionnement en modules est préférable aux gouttières car il permet de compartimenter les plantes et réduit les risques de propagation des maladies.



Fertigation

La scorie est un substrat très aéré, très drainant, de porosité totale moyenne (70 %) et de faible capacité de rétention en eau (276 ml/l). Les doses d'irrigation sont donc faibles et la fréquence des apports doit être élevée. Pour le volume conseillé de 10 l par plante, la dose d'irrigation préconisée est de 200 à 300 ml par apport, soit 7 à 11 min par apport avec des goutteurs de débit de 2 l/h à une fréquence de 5 à 10 apports par jour.

Pour en savoir plus sur les propriétés des substrats

Un bon substrat est un support qui possède un bon équilibre entre ses phases liquides et gazeuses. La capacité de rétention en eau conditionne la fréquence des irrigations mais doit permettre une bonne oxygénation des racines. En conclusion, on recherche un substrat ayant une forte porosité, une bonne disponibilité en eau, une stabilité sur plusieurs cycles et une teneur en air correcte.

Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques définissent la stabilité d'un substrat dans le temps : il s'agit de l'élasticité, du tassement, de la dégradation et, en conséquence, de la stabilité.

Elasticité

L'élasticité est en relation directe avec la granulométrie et la texture du matériau. En culture hors sol, on recherche un substrat assez souple de façon à ne pas blesser les racines.

Tassement

On parle du tassement du substrat au fond du contenant (sac, gouttière ou pot). Ce facteur très limitant provoque une zone de faible circulation d'air et d'asphyxie qui empêche le développement des racines au fond du contenant.



Dégradation

Le substrat peut être dégradé au cours du temps par deux processus :

- la dégradation chimique du substrat sous l'action d'une acidification ; le substrat se délite. Les substrats concernés sont certains substrats minéraux, comme les sables calcaires. En revanche, la pouzzolane et les scories n'y sont pas sensibles (du fait de leur composition minérale issue de transformations à très haute température) ;
- la dégradation de la matière organique sous l'action de la microflore ; c'est l'humification du substrat. Tous les substrats organiques sont concernés (tourbe blonde, fibres de coco...), et c'est pourquoi leur utilisation est limitée dans le temps.

Stabilité

La stabilité est la capacité du matériau à conserver le plus longtemps possible les propriétés pour lesquelles il a été choisi. En général, une élasticité suffisante et une bonne résistance mécanique assurent le maintien des propriétés physiques dans le temps et sont donc des critères de longévité. Les substrats peuvent être classés selon le mode de dégradation (tableau 15).

Tableau 15. Modes de dégradation des substrats.

| Substrat | Evolution de la dégradation | Type de dégradation |
|---|---|---|
| Scorie, pouzzolane, autres matériaux minéraux | Pas de dégradation | Pas de dégradation |
| Fibre de bois, tourbe blonde | Evolution lente | Biodégradation de la matière organique |
| Fibres de coco | Modifications visibles au cours d'une culture | Abrasion des particules ou diminution des propriétés mécaniques |
| Tourbe brune | | Défaut d'humification de la matière organique |



Scorie de charbon. © S. Simon



Propriétés physiques : conséquences sur l'irrigation

Les propriétés physiques des substrats sont la porosité totale, la teneur en eau, la teneur en air, la disponibilité en eau et l'inertie thermique.

Porosité totale

Un substrat est constitué d'une phase solide et d'espaces (les « pores ») occupés par les fluides (air ou eau). Ces espaces occupés par les fluides constituent la **porosité totale**.

Les pores de petit diamètre, 20 à 100 μm , forment la **microporosité**. Les pores de volume plus important, de diamètre supérieur à 100 μm , forment la **macroporosité**. Cette distinction est importante pour différencier les substrats parce qu'après remplissage par la solution nutritive, **seuls les pores les plus petits retiennent l'eau**. L'eau fuit facilement des pores de volume plus important où elle est remplacée par le même volume d'air. **Teneur en air** et teneur en eau sont donc complémentaires ; Elles sont exprimées en pourcentage du volume de porosité totale.

Teneur en eau

Quand un substrat est saturé avec une solution, tout le liquide excédentaire est évacué par gravité. Un équilibre s'établit ensuite entre le substrat et le liquide retenu. Cet équilibre définit la capacité de rétention maximale en eau : c'est ce qu'on appelle la « capacité en bac », appelée aussi « capacité au champ ».

Teneur en air

La teneur en air du substrat est évaluée après ressuyage du substrat à la capacité en bac :

$$\text{teneur en air} = \text{porosité totale} - \text{capacité de rétention en eau}$$

Pour un bon développement des racines, la teneur en air doit représenter au moins 50 % de la porosité totale du substrat. La connaissance de la teneur en air permet de moduler la gestion de l'irrigation (tableau 16).



Tableau 16. Classification des substrats utilisés à La Réunion en fonction de leur teneur en air et conséquences pour l'irrigation.

| Substrat | Teneur en air à la capacité en bac (% de la porosité totale) | Classification du substrat | Conséquences pour l'irrigation |
|--------------------------|--|----------------------------|--|
| Pouzzolane | 80 | Type 3 | Faibles risques d'asphyxie racinaire car conservant une bonne teneur en air à la capacité en bac Intervalle court entre les irrigations : 1 h |
| Scorie de charbon | 52 | Type 2 | Substrats intermédiaires Intervalle moyen entre les irrigations : 2 h |
| Tourbe blonde | 39 | Type 1 | Risques d'asphyxie racinaire à cause de leur faible teneur en air à la capacité en bac Intervalle assez long entre les irrigations : 3 h |
| Résidus de fibre de coco | 37 | Type 1 | Risques d'asphyxie racinaire à cause de leur faible teneur en air à la capacité en bac Intervalle assez long entre les irrigations : 3 h |

Attention à la réhumectation

Il faut éviter le dessèchement des substrats organiques entre deux cycles : quand ils sont secs, il est impossible de les réhumecter de façon homogène, et un nouveau gonflage est également impossible à cause des fentes de drainage du sac.

Attention à la forte rétention en eau

Les substrats à forte rétention en eau peuvent favoriser le développement de champignons telluriques tels que *Pythium* et *Phytophthora*.



Echasses pour opérations culturales.



Extraction de l'eau par la plante

En plus des critères de porosité, teneur en eau et teneur en air, la disponibilité en eau pour la plante est importante à connaître pour gérer l'irrigation. La plante puise l'eau, donc la solution nutritive, dans le substrat. Plus la plante absorbe l'eau, plus le substrat se dessèche et plus les racines ont des difficultés à en extraire l'eau. Il existe une limite d'extraction qui correspond à la valeur d'humidité du substrat au-delà de laquelle la plante ne peut plus absorber d'eau (elle se dessèche peu à peu). Cette limite, dite point de flétrissement temporaire pF 2, est fonction du type de sol ou de substrat. La différence entre la teneur en eau maximale du substrat (dite capacité de rétention maximale du substrat) et cette valeur limite est la capacité de rétention en eau, appelée encore « réserve en eau facilement utilisable par la plante » (figure 7). Un substrat à faible capacité de rétention en eau se dessèche très vite et doit être irrigué plus fréquemment qu'un substrat à forte capacité en eau.

Un apport par irrigation doit compenser l'absorption par la plante et les pertes par évaporation du substrat et, en plus, doit permettre un drainage d'un volume minimal équivalent à 20 % du volume d'apport, ce qui évite les accumulations d'ions dans le substrat (tableau 17).

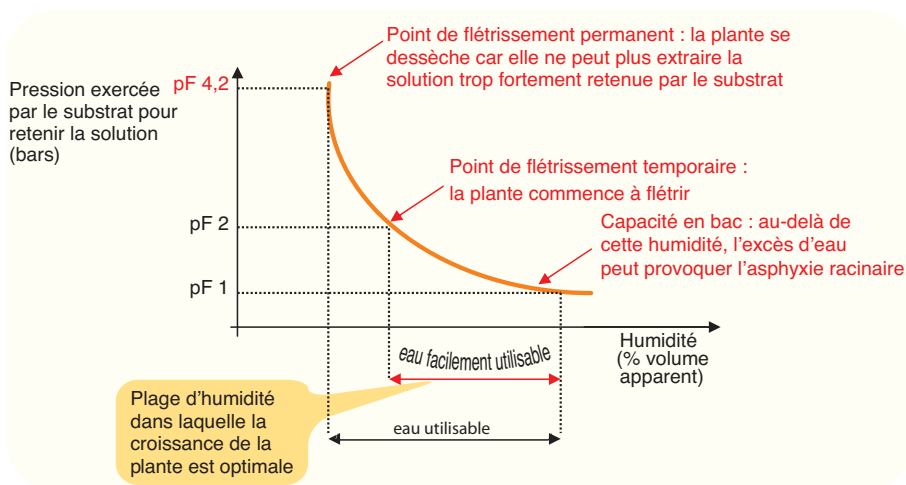


Figure 7. Absorption de l'eau par la plante en fonction de l'humidité du substrat.



Tableau 17. Recommandations de fertigation (les valeurs sont indicatives et varient suivant l'exposition de l'exploitation, l'altitude et le stade physiologique des plants).

| Substrat | Porosité totale (ml/l de substrat) | Teneur en air (ml/l de substrat) | Capacité de rétention en eau (ml/l de substrat) | Volume d'eau à chaque apport de fertigation (ml) | Nombre d'apports par jour |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|--|---------------------------|
| Pouzzolane | 723 | 573 | 150 | 150-200 | 5 à 10 |
| Scorie de charbon | 745 | 469 | 276 | 200-300 | 5 à 10 |
| Tourbe blonde | 944 | 365 | 579 | 225-350 | 3 à 7 |
| Résidus de fibres de coco | 946 | 314 | 632 | 225-350 | 3 à 7 |

Inertie thermique : élévation ou baisse de température

À l'intérieur du substrat, les fluctuations de température doivent être les plus faibles possibles. La capacité du substrat à limiter les écarts de température est fonction de sa nature et du développement de la plante.

L'élévation de la température du substrat réduit l'absorption de certains éléments minéraux : par exemple, le calcium est mal absorbé par la plante à partir de 25 °C. Elle augmente aussi le besoin en oxygénation racinaire : le besoin en oxygène est doublé pour une élévation de la température de 10 °C.

Pour limiter les élévations de températures des substrats, en particulier les scories, cinq stratégies sont possibles et peuvent être complémentaires :

- augmenter le volume de substrat pour diminuer la vitesse de réchauffement et conserver des couches inférieures plus fraîches ;

Effets de hautes températures du substrat

La croissance racinaire de la tomate est optimale entre 15 et 19 °C. À partir de 24-26 °C, elle est très ralentie. À partir de 35-38 °C, elle est stoppée. L'absorption d'eau par les racines est la plus efficace entre 12 et 30 °C.

Si l'éclairement est suffisant, une température comprise entre 24 et 30 °C peut favoriser la croissance des plantes.

Et le froid ?

À La Réunion, les températures minimales ne sont pas assez basses et ne durent pas assez longtemps (une nuit au plus) pour induire des conséquences contre lesquelles il faille lutter.



- recouvrir les gouttières de plastique blanc ou utiliser des contenants de couleur claire. L'effet est plus important en début de cycle, lorsque la plante installe son système racinaire ;
- enterrer le réseau d'irrigation pour « refroidir » l'eau. Attention : cela doit être prévu lors de la construction de l'abri ;
- espacer les irrigations et augmenter les doses pour permettre une plus grande phase de ressuyage et d'oxygénation, dans les limites des volumes d'apport donnés au tableau 17 ;
- maîtriser le climat de la serre (voir le chapitre *Choix d'un type d'abri et de son équipement*).

Propriétés chimiques

En culture hors sol, on recherche avant tout un substrat inerte qui n'interagisse pas avec la solution nutritive — les interactions chimiques entre le substrat et la solution peuvent créer des dés-

équilibres dans la solution. Cette solution apporte les éléments minéraux dont la plante a besoin tout en respectant des équilibres ioniques précis. En réalité, peu de substrats sont totalement inertes. Il faut donc connaître leur réactivité chimique de façon à adapter la solution nutritive. Pour cela, deux caractéristiques du substrat sont importantes à connaître : le pH et la capacité d'échange cationique (CEC).

Faut-il lessiver les substrats avant leur première utilisation ?

Oui pour la scorie de charbon, qui est riche en calcium et en sulfates, avec une conductivité électrique de 1,25 mS/cm. Ces ions sont assez facilement éliminés par lessivage : avant la première utilisation, lessiver la scorie avec une eau claire et acidifiée.

Oui pour les substrats à base de fibre de coco, qui sont riches en sodium et en chlorures, et qui possèdent également une teneur élevée en potassium. Ces ions, en particulier les chlorures et le sodium, doivent être éliminés car ils peuvent entraîner une phytotoxicité. Pour cela, on gonfle les sacs à l'aide de nitrate de chaux dilué (conductivité d'environ 1 mS/cm). Après réalisation des fentes de drainage, un à trois lessivages sont effectués avec la première solution nutritive jusqu'à la stabilisation de la conductivité de drainage à 2 mS/cm.

Non pour la pouzzolane et la tourbe blonde, qui ne contiennent pas d'éléments en quantité élevée avant leur utilisation en culture : le lessivage est inutile.

pH et capacité d'échange cationique

Le pH du substrat doit être proche du pH de la solution nutritive (tableau 18). L'idéal est un pH de substrat entre 5 et 6,5, qui permet l'absorption optimale des éléments minéraux nutritifs



par la plante. Si le pH est trop acide ou trop basique, certains ions ne sont plus absorbés par les racines.

On recherche de préférence des substrats avec une faible capacité d'échange cationique (CEC) (tableau 18). La CEC est la quantité d'ions positifs (cations Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ ...) qui peuvent être échangés entre le substrat et la solution nutritive. Elle s'exprime par la conductivité électrique.

Evolution des propriétés chimiques au cours des cycles

Les substrats organiques ont tendance à s'acidifier. Cette baisse du pH entraîne des problèmes d'absorption des éléments par la plante. Si le pH baisse en dessous de 5, la plupart des ions nutritifs de la tomate sont moins disponibles. La tourbe blonde est la plus sensible à l'acidification. Ce phénomène a lieu dès le premier cycle de culture, dès les premières récoltes. En fin de culture, le pH remonte légèrement.

En dépit de son pH basique, la scorie de charbon a des avantages par rapport aux substrats organiques : son origine minérale lui procure la même neutralité chimique que le verre. Elle n'évolue pas et elle n'agit pas sur le pH de la solution nutritive.

Pour tous les substrats, les ions ont tendance à s'accumuler au fil des cycles de culture. La teneur en azote total augmente. À chaque début de nouveau cycle, il faut donc lessiver le substrat avec la première solution nutritive avant la plantation, de façon à obtenir une conductivité au drainage relativement faible (2 mS/cm).

Tableau 18. pH et capacité d'échange cationique des substrats disponibles à La Réunion.

| Substrat | pH | | Capacité d'échange cationique (CEC) | |
|-------------------|--|--|---|---|
| | Valeurs | Conséquences | Valeurs | Conséquences |
| Scorie de charbon | > 7 Variable selon les lots | Il faut lessiver le substrat avant utilisation | CEC faible (1,25 mS/cm) | Substrat chimiquement inerte Aucune interaction avec les éléments minéraux |
| Fibres de coco | Résidu de fibres de coco : 6 Fibres brutes ou broyées : 5 à 5,5 | Pas de correction nécessaire du pH | CEC assez élevée, parfois supérieure à 10 mS/cm, à cause de la présence de sels | Avant la plantation d'un premier cycle de culture : saturer la CEC du substrat avec une solution nutritive, pour éviter les interactions ultérieures entre le substrat et les solutions fertilisantes |
| Tourbe blonde | 4,8 (variable de 4 à 7) Très variable selon les lots | | Jusqu'à 4 mS/cm | |



Propriétés biologiques

Un bon support ne doit pas être contaminé par des pathogènes avant l'emploi ou en cours de culture. C'est une condition essentielle pour le réutiliser à la culture suivante. La désinfection du substrat entre deux cycles est de toute façon nécessaire pour se prémunir des attaques fongiques. Les matières actives utilisées pour le traitement de désinfection sont choisies en se référant à la législation en vigueur.



© FDCDON

De la préparation de la serre à la plantation



Cette partie décrit les manipulations nécessaires et les précautions à prendre pour préparer et réaliser la plantation des tomates hors sol.

© FDGDON



Préparation de la serre

Nivellement et profilage

Profilage : faites-le durer !

Le profilage est une opération fastidieuse nécessitant beaucoup de main-d'œuvre. C'est pourquoi il vaut mieux employer des matériaux qui évitent les tassements et les effondrements. L'emploi de barres de polystyrène pour la confection des assises des contenants est une solution intéressante. Peu coûteuses, ces barres peuvent aussi être découpées aux dimensions souhaitées. Pour les canaux de drainage, l'emploi de gouttières en PVC est également possible. Une autre solution, chère et irréversible, est le bétonnage du profil des drains.

Le nivellement confère à la surface de la serre un aspect plan avec une légère pente en prévision de l'évacuation de l'eau de drainage. En théorie, le nivellement de la serre devrait avoir une pente de 0,5 %. En fonction de l'outil utilisé (visée laser, niveau d'eau...), les pentes atteignent parfois 1 à 3 %. L'essentiel est d'éviter les bosses et les creux pouvant créer des retenues d'eau stagnante.

Le profilage consiste à façonner l'assise des contenants de substrat, les canaux de drainage et les allées. Il est indispensable de bien effectuer cette opération car elle conditionne la réussite de la culture. Les dimensions sont variables en fonction du type de serre et du substrat envisagé.

Le plan de support des substrats organiques en sacs et des gouttières de scories est à la fois :

- surélevé de 5 cm par rapport à l'allée ;
- très légèrement incliné vers le canal de drainage pour que l'eau de drainage s'écoule sans ruissellement vers l'allée.

Le canal de drainage a une pente régulière sur toute la longueur de la

Pas d'allées étroites

Des allées trop étroites (moins de 60 cm) associées à un palissage haut de la végétation (3 à 4 m de hauteur) réduisent la pénétration de la lumière, provoquant un mauvais développement des plantes.

Au profilage, pensez aux extrémités de la serre !

Il faut laisser 1 à 1,5 m aux extrémités de l'abri pour augmenter la ventilation et faciliter les déplacements et l'utilisation des charriots.

serre afin d'éviter la stagnation de l'eau. À l'extrémité de la serre, un drain transversal aux canaux de drainage des lignes de plantation est aménagé pour assurer l'évacuation vers l'extérieur. Ce drain est relayé à l'extérieur par un canal d'écoulement ou, si la solution est réutilisée en recyclage hors sol ou vers des cultures de pleine terre, par une citerne de récupération.

Les allées ont une largeur de 80 à 100 cm pour permettre toutes les manipulations avec ou sans chariot et les opérations d'entretien de la culture. Le profilage des allées peut être réalisé avec un bombement pour l'évacuation des eaux vers les canaux de drainage.

Paillage plastique

La culture doit être protégée de tout contact avec le sol de la serre, pour éviter les contaminations avec des agents pathogènes. Pour cela, tout en respectant le profilage, on pose un film polyéthylène biface blanc-noir sur la surface intérieure de la serre :

- surface noire face au sol pour empêcher le développement des mauvaises herbes ;
- surface blanche dessus pour réfléchir la lumière et avoir une bonne luminosité dans la serre.

À chaque extrémité de la serre, la bâche est tendue dans le sens des rangs de culture. Sur les côtés de la serre, la bâche est relevée et fixée sur un fil de fer tendu à environ 30 cm du sol.

Epaisseur du film de paillage

Sur sol lisse sans roche :

- film bâche biface d'au moins 100 µm.

Sur sol caillouteux :

- pose préalable d'un tapis de sol tissé dans les futures allées, pour éviter le percement du film biface ;
- film de 40 µm d'épaisseur.



Paillage plastique. © S. Simon

Fils de palissage

Pour cultiver les variétés à croissance indéterminée et pour augmenter la densité de plantation, les plants de tomates sont palissés. Pour

La culture pèse lourd !

Sur une longueur de 30 m, le fil de culture supporte le poids d'une centaine de plants de tomate, soit plus de 500 kg. C'est le pic de charge, c'est-à-dire le poids total de la végétation de 100 plants avant la première récolte.

chaque ligne de culture, le palissage est constitué d'un solide fil de culture (ou fil de palissage), en fil de fer de section minimale de 3 mm², tendu d'un bout à l'autre de la serre et placé entre 2,5 et 3 m de hauteur. Ce fil de culture supporte les ficelles de palissage (une par plant). Pour éviter les affaissements, il faut le tendre suffisamment et le renforcer par des supports transversaux répartis le long de la serre. Ces renforts font le plus souvent partie intégrante de la structure de l'abri, dont la solidité doit tenir compte du poids de la culture.

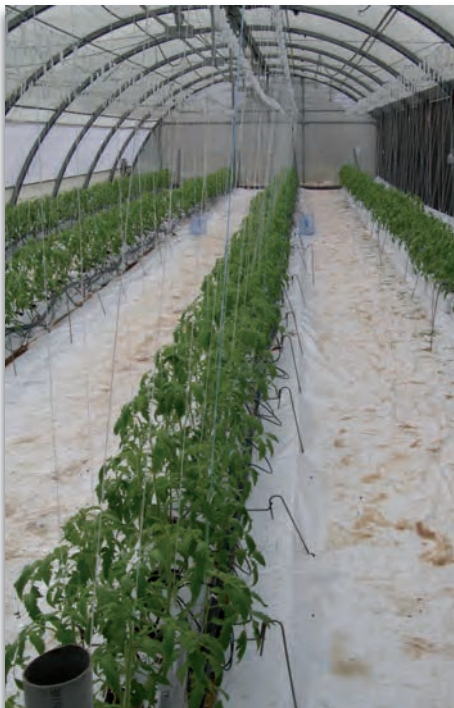


© FDGDON

Les support de culture en M.



© S. Simon



© S. Simon

Supports en M et palissage.

La hauteur de palissage est de 2,50 à 3 m (tableau 19), parce qu'un plant de tomate en récolte mesure en moyenne 2,5 m entre l'apex et ses premiers fruits récoltables. Mais après plusieurs mois de culture, la tige totale du plant peut mesurer jusqu'à 15 m ! Celle-ci court alors à la surface des substrats. Il faut l'empêcher de tomber dans le drain ou d'être au contact du substrat humide (ce qui peut entraîner sa pourriture) : pour cela, on place des supports en forme de M en travers du double-rang pour soutenir cette tige. Si le fil de palissage n'est pas assez haut, les bouquets en récolte pendent près des substrats ou du canal de drainage : on préconise alors l'utilisation des mêmes supports en forme de M (figure 8).

Tableau 19. Inconvénients d'un palissage trop bas (2 m) ou trop haut (4 m).

| Hauteur du palissage | Conséquences pour le travail | Conséquences pour les plantes |
|---|---|--|
| Inférieure à 2 m : fils de palissage trop bas | Descente des plants effectuée plus tôt, d'où augmentation des temps de main-d'œuvre et donc du coût de production Pénibilité et durée de récolte augmentées | En début de descente des plants, lorsque les têtes atteignent le fil de palissage, les premiers bouquets ne sont pas encore récoltés. Dans ce cas, ces bouquets se trouvent au niveau du sol, ce qui peut provoquer une baisse de la qualité des fruits |
| Supérieure à 4 m : fils de palissage trop hauts | Travaux de palissage fastidieux du fait des efforts à fournir ou de l'équipement nécessaire pour atteindre la tête des plants (chariot de palissage ou autre matériel adapté) | Les têtes des plants peuvent être, suivant la structure de la serre, trop proches du plastique de couverture, ce qui peut provoquer des brûlures Un palissage trop haut combiné à des allées trop étroites peut retarder le développement des plantes, car elles souffrent d'un manque de lumière |

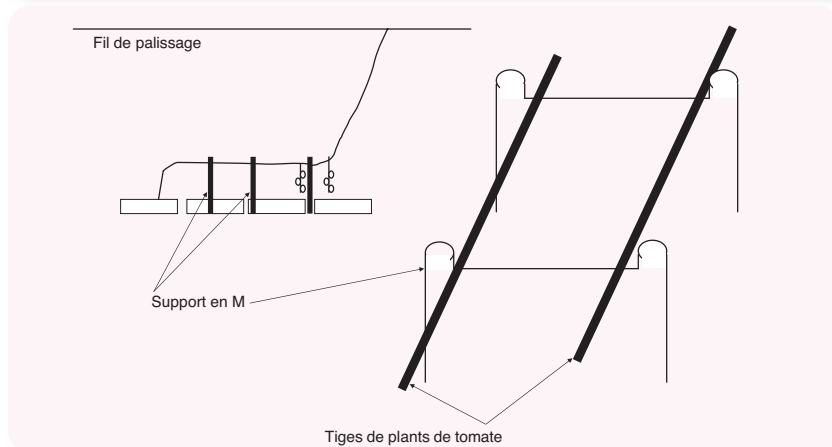


Figure 8. Schéma des supports en M à la base des plants.



Installation du réseau d'irrigation

Le système de fertigation doit être en place au minimum une semaine avant la plantation pour permettre la préparation des substrats.

Le peigne d'irrigation est le plus souvent constitué de tuyaux secondaires de 32 mm de diamètre, sur lesquels sont branchés des tuyaux tertiaires de 16 ou 20 mm de diamètre placés le long de chaque ligne de plantation.

Les tuyaux tertiaires sont placés dans les canaux de drainage et sont munis de goutteurs. Sur les goutteurs sont branchés des répartiteurs de débit, appelés « araignées ». Chaque araignée répartit l'eau vers quatre capillaires (un par plante). A l'extrémité de chaque capillaire, une pique distribue la solution nutritive au plant.



Mise en place du réseau d'irrigation. © S. Simon

Plantation

Densité de culture

Sur la ligne de plantation, la distance entre deux plants est d'environ 30 cm.

Suivant l'ensoleillement, la densité de culture peut varier de 2,5 plants/m² en saison fraîche à 3 plants/m² en saison chaude. A cette densité, la surface foliaire est plus élevée et la transpiration des plantes augmente. Cette évaporation d'eau rafraîchit légèrement le climat, en plus de l'augmentation de l'ombrage des parties basses de la serre.

Volume de substrat par plante

Le volume efficace de substrat par plante varie de 5 à 10 l. Au-dessus de 10 l par plante, les racines ne colonisent pas tout le volume, en particulier dans les substrats qui sont très drainants (pouzzolane, scorie de charbon), car l'eau y suit un chemin préférentiel et cela induit un bulbe d'irrigation plus étroit.

Le volume optimal dépend de la capacité de rétention en eau et de l'aération du substrat :

- 5 à 6 l par plante pour les substrats organiques (tourbe blonde ou fibre de coco) ;
- 10 l par plante pour les substrats très drainants (pouzzolane, scorie de charbon), afin d'obtenir une réserve en eau suffisante.

Mise en place des substrats organiques

Gonflage

Le gonflage consiste à humidifier les substrats organiques qui sont livrés compactés et déshydratés. Pour cela, on introduit complètement les piques de fertigation dans les sacs : ces piques sont réparties aux deux extrémités et au milieu des sacs. Pendant le gonflage, il faut vérifier que les piques soient correctement placées et que la solution apportée pénétre bien dans les sacs et ne s'écoule pas à l'extérieur.

Le pH recommandé de la solution de remplissage est compris entre 5,5 et 6 et sa conductivité varie selon la nature du substrat (voir *Fertilisation*) :

- pour la tourbe blonde, le gonflage est effectué avec la solution nutritive correspondant

Sacs de substrats organiques : précautions

Lors du transport, manipuler les sacs avec précaution pour ne pas casser les modules de substrat. Les cassures rendent le gonflage hétérogène et, par la suite, perturbent la colonisation racinaire et l'écoulement de la solution nutritive. Si certains modules de substrat conditionnés en sacs se cassent, il faut les remplacer ou rapprocher les morceaux au sein du sac.

Si des sacs sont déchirés, les refermer avec du ruban adhésif avant le gonflage.

Toujours placer les sacs de façon à ce que la soudure longitudinale soit côté sol : c'est dans la face supérieure sans soudure que les trous de plantation sont percés. En effet, les sacs sont fermés par trois soudures : une soudure le long du sac sur une face et deux soudures à chaque extrémité. Au niveau des soudures, il y a plusieurs épaisseurs de plastique et leur découpe peut entraîner des déchirements.

Avant le gonflage, centrer au mieux le substrat sec dans le sac pour permettre un gonflage homogène (le sac de conditionnement est beaucoup plus « grand » que le volume du substrat compacté et déshydraté qu'il contient).

Calcul du nombre de sacs

- Sacs de substrat organique, 6 plants par sac
- Densité : 2,5 plants/m²
- Surface: 1 000 m²
- Bi-tunnel de 16 m de largeur à 8 doubles rangs de plantation
- La serre contient donc 2 496 plants, répartis dans 416 sacs, soit 52 sacs par rang.

Vérifier le gonflage

Dès le gonflage terminé, vérifier l'homogénéité, c'est-à-dire la régularité de l'humectation : les modules de substrat doivent avoir la forme de parallélogrammes réguliers.

Certains goutteurs peuvent avoir un débit plus faible que les autres : effectuer des apports localisés complémentaires après la réalisation des trous de plantation.

au premier stade végétatif et selon l'électroconductivité souhaitée pour le début de culture ;

– pour les fibres de coco, le gonflage est effectué avec une solution de nitrate de chaux pour saturer le substrat en ions calcium. L'électroconductivité est faible, de 0,5 à 1 mS/cm.

Le gonflage est effectué progressivement pour éviter que les modules de substrat ne se désagrègent ou basculent dans le canal de drainage (tableau 20).

Trous de plantation

Pour les substrats organiques conditionnés en sacs, on découpe une croix ou un carré dans l'emballage plastique à l'emplacement de chaque plante, à 15 cm de chaque extrémité et au milieu. Pour les substrats organiques conditionnés en sacs, cela représente 3 ou 6 plants par module de 1 m de long. Après la mise en place d'une pique par trou de plantation, la première solution nutri-

tive est apportée. Pour les autres substrats (scorie, pouzzolane), les piques sont directement plantées dans le substrat.

Fentes de drainage et coupures d'eau

Les risques de coupure d'eau de quelques jours sont toujours à craindre à La Réunion.

C'est pourquoi les premiers producteurs pratiquaient les fentes de drainage à quelques centimètres au-dessus du fond des sacs, dans le but de créer une réserve d'eau à la base des sacs. Selon une étude conduite en 2000 par le CIRAD et l'ARMEFLHOR, cette pratique n'apportait aucune amélioration significative par rapport aux fentes à la base des sacs. Des effets négatifs ponctuels ont même été constatés : le substrat contenu dans la réserve, toujours immergée, est asphyxiant et sa conductivité est élevée car la solution nutritive y est peu renouvelée.

Aujourd'hui, les producteurs investissent plutôt dans des moyens de stockage d'eau (citernes ou bassins) pour faire face aux coupures d'eau.

Fentes de drainage

Lorsque le gonflage est achevé, les sacs doivent être fendus pour permettre l'écoulement du drainage.

Trois fentes horizontales de 5 cm de long sont orientées vers le canal de drainage et taillées au fond de chaque sac de la façon suivante :

- deux fentes, chacune placée à chaque extrémité du sac ;
- une fente au milieu du fond de sac.

Pour les fibres de coco, les fentes sont impérativement



pratiquées dès la fin du gonflage pour permettre le lessivage du substrat. Ce lessivage est effectué avec la première solution nutritive à une électroconductivité de 1 mS/cm, augmentée peu à peu jusqu'à la valeur souhaitée pour le début de culture. Le lessivage est poursuivi jusqu'à ce que la solution de drainage ait une électroconductivité supérieure de 0,5 mS/cm par rapport à la première solution nutritive.

Tableau 20. Exemple de gonflage en 5 jours, avec un apport le matin et un autre l'après-midi.

| Jours | Volume distribué par goutteur (l) | Volume cumulé par sac accueillant 3 plants (l) | Volume cumulé par sac accueillant 6 plants (l) |
|-----------------|-----------------------------------|--|--|
| 1 ^{er} | 0,1 | 0,3 | 0,6 |
| 2 ^e | 2 fois 0,1 | 0,9 | 1,8 |
| 3 ^e | 2 fois 0,3 | 2,7 | 5,4 |
| 4 ^e | 2 fois 0,3 | 4,5 | 9 |
| 5 ^e | 2 fois 0,5 | 7,5 | 15 |



© Photos S. Simon

Gonflage homogène.



Emplacement des trous de plantation.

Ficelles de palissage

Les ficelles de palissage servent à conduire le plant vers le fil de culture. Chaque ficelle est tenue sur le fil de culture par un crochet autour duquel elle est en partie enroulée. Les ficelles peuvent être installées avant la plantation. Le passage de la ficelle sous la motte du jeune plant évite de l'attacher ultérieurement au plant (pas de blessure ni d'étranglement).



Ficelles de palissage.

© S. Simon

Pré-plantation des plants en conteneurs individuels

Une semaine avant la plantation, on peut effectuer la pré-plantation des plants conditionnés en conteneurs individuels : chaque plant est placé à côté de son futur trou de plantation. Pour des raisons prophylactiques (contamination par des maladies cryptogamiques ou bactériologiques), il faut éviter de placer les plants dans les allées de passage.

Si la serre n'est pas encore prête à recevoir les plants, il faut diminuer la densité en pépinière en écartant les plants les uns des autres afin qu'ils ne s'étiolent pas.

La pré-plantation est impossible pour des plants en mottes non protégées, dont le dessèchement rapide peut entraîner leur flétrissement.

Plantation

Le stade optimal de plantation est le stade du premier bouquet fleuri, 25 à

Avantages de la pré-plantation

- C'est une phase d'adaptation du plant au climat de la serre.
- Elle permet de réduire la surface de la pépinière car il n'est alors pas nécessaire d'y espacer les plants.
- Pendant la pré-plantation (1 semaine), l'absence d'irrigation induit un léger stress hydrique, qui ralentit ensuite le développement de la végétation pendant quelques semaines. On obtient alors des plants plus trapus, avec les premiers entrenœuds courts.

Climat à la plantation

Après la plantation, il ne faut pas trop arroser le jeune plant, pour l'obliger à émettre des racines. En 5 jours, le système racinaire atteint le fond du sac.

En saison chaude, il faut surveiller la température du substrat : au-dessus de 30 °C, les racines ne poussent plus.



35 jours après le semis. Le plant mesure alors 30 cm de haut. Il est facile à manipuler car les racines ont colonisé toute la motte.

Trois techniques de plantation sont possibles selon le type de plants (tableau 21).

Le plant est disposé de manière à ce que le premier bouquet soit vers l'allée. L'extrémité de la ficelle de palissage est passée sous chaque plant pour que les racines la bloquent.

Les piques de fertigation doivent être plantées dans le substrat du godet ou de la motte (figure 9). Elles ne doivent pas être trop près du collet pour ne pas provoquer de pourriture. Il faut les enfoncer au maximum à 2 ou 3 cm de profondeur (au-delà, les racines pénètrent dans les capillaires et les bouchent).

Tableau 21. Techniques de plantation selon le type de plant.

| Type de plant | Technique de plantation |
|---|--|
| Godet individuel carré de 6 ou 8 cm de côté | Recommandé pour la pré-plantation Fond du godet coupé Godet disposé de façon à ce que les racines soient en contact avec le substrat |
| Godet individuel rond semi-rigide pré-troué pour le passage des racines | Recommandé pour la pré-plantation Godet posé directement sur le substrat Manipulation rapide mais investissement plus élevé que le godet carré |
| Motte individuelle nue | Pré-plantation impossible Motte placée au sein du substrat sans recouvrir le collet : toutes les racines sont en contact avec le substrat (meilleure reprise) |

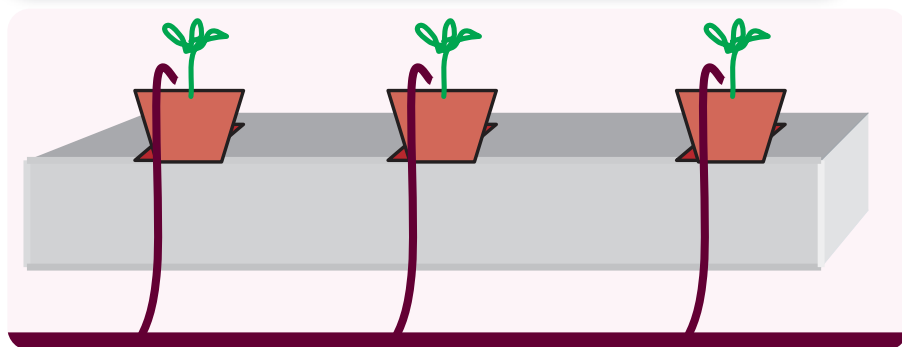


Figure 9. Position des piques de fertigation.



© FDGDON

Tomates sous abri.

Irrigation



Sous serre, l'évapotranspiration potentielle est variable selon la localisation géographique et selon le type de serre. C'est pourquoi la quantité d'eau à apporter est évaluée en fonction du comportement de la plante, du pourcentage de drainage et du volume des substrats. Cette quantité varie également suivant le stade physiologique de la plante et l'ensoleillement.

© FDGDON



Irrigation

Pilotage de l'irrigation

Les racines ont toujours tendance à se localiser dans les zones où l'air circule facilement. Lorsque le substrat est asphyxiant, les racines se développent dans la partie supérieure du contenant, qui est la moins humide et la plus aérée, ou à la périphérie, pour rechercher l'interface air - eau. Pour un bon fonctionnement de la plante, il faut donc respecter les étapes du cycle d'irrigation décrites dans la figure 10 : chaque nouvelle irrigation est déclenchée après l'assèchement partiel du substrat, sans attendre toutefois que la réserve facilement utilisable en eau soit vide.

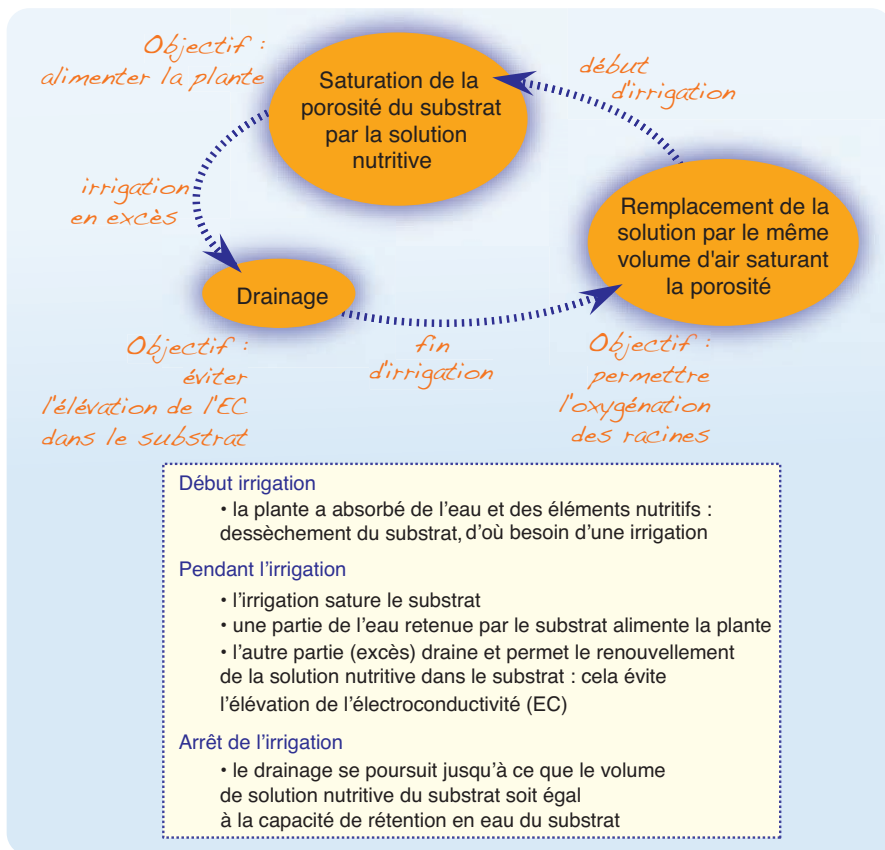


Figure 10. Cycle d'une irrigation.



Irrigation après la plantation

Les racines apparaissent au fond du sac 5 jours après la plantation. L'arrosage est progressif, avec des apports croissants de 200 à 500 ml par plant et par jour jusqu'à la reprise.

Si elles n'apparaissent pas au fond du sac 10 à 15 jours après plantation, c'est un symptôme d'excès d'eau dans le substrat. Il faut alors diminuer l'arrosage pendant quelques jours. L'excès d'eau empêche les racines des jeunes plants de coloniser le substrat et la reprise est plus lente.

Dès que la végétation se développe, à partir de la floraison du troisième bouquet, environ 6 semaines après plantation, on augmente l'apport d'eau jusqu'à 1 l par plant et par jour. A ce stade, le drainage ne doit pas dépasser 5 à 10 % de la quantité de solution apportée.

*Excès,
manque, période
d'irrigation*

- Éviter les irrigations excessives qui provoquent un risque d'asphyxie. Les racines brunissent, la plante jaunit et flétrit par forte chaleur.
- Éviter le manque d'eau, qui provoque le flétrissement des plantes, qui commence par la tête. Si le manque d'eau se prolonge, l'extrémité des jeunes feuilles noircit par forte chaleur. Sur les fruits, la nécrose apicale ou « cul noir » (blossom end rot) apparaît 2 à 3 semaines après l'accident.
- Commencer l'arrosage au lever du soleil et l'arrêter au moins 2 h avant le coucher du soleil. La règle est de garder les racines au sec pendant la nuit : un arrosage nocturne peut provoquer la pourriture des racines, leur asphyxie et l'apparition de moelle noire. Cette recommandation est primordiale en altitude pendant l'hiver austral (juillet à septembre).

Irrigation des plants adultes

Le taux de drainage doit être de 10 à 15 % du volume d'apport sur scorie et de 30 à 40 % sur substrat organique.

L'apport d'eau varie de 1 à 3 l d'eau par plant et par jour, selon le type de substrat, l'altitude et la saison.

L'observation permanente et la vigilance du producteur sont indispensables pour réguler l'arrosage. Il ne faut pas hésiter à observer régulièrement les plantes et à contrôler quotidiennement les apports.



Equipement

Les principaux modèles utilisés à La Réunion sont décrits ici.

Electrovanne programmable

L'électrovanne programmable est bien adaptée aux petites surfaces, elle est facile à utiliser et à reprogrammer. Mais elle laisse peu de liberté pour les plages d'irrigation :

- impossible de faire varier les durées d'irrigation au cours de la journée ;
- impossible de proposer plusieurs plages inter-irrigation.



© S. Simon

Vanne avec programmeur horaire.

Programmateur

Le programmeur permet de différencier les durées et les intervalles d'irrigation au cours de la journée. Il peut être modifié à tout moment. Il doit être reprogrammé au fur et à mesure du changement des besoins des plantes. Comme l'électrovanne programmable, il ne tient pas compte des besoins de la plante. Son coût d'installation est plus élevé que l'électrovanne.

Electrovanne : exemple de calcul

- Fenêtre d'irrigation de 12 h dans la journée
- 10 min par irrigation
- Intervalle de 3 h entre deux irrigations
- La première irrigation débute toujours à l'heure à laquelle l'électrovanne a été programmée

Pilotes d'irrigation

Les pilotes d'irrigation doivent être reliés à une électrovanne programmable ou à un programmeur ayant une entrée externe. Nous avons testé le start-bac, l'évaporomètre et le solarimètre.

Start-bac : petites exploitations et substrat organique en sac

La facilité d'installation, la fiabilité au cours du cycle et le faible besoin de rééquilibrage font du start-bac un outil adapté aux petites exploitations (moins de 5 000 m² sous serre) qui utilisent les substrats organiques en sacs.



Le start-bac est un outil de gestion des arrosages. Il permet de réguler l'arrosage en fonction de l'absorption d'eau par la plante plutôt qu'en fonction de l'ensoleillement extérieur. Il est aussi un indicateur de l'activité des plantes lorsqu'elles sont cultivées sur un substrat organique conditionné en sac.

Si le réglage est bon et que les plantes tests n'ont pas d'accident, cette technique d'arrosage aboutit à la meilleure adéquation entre les apports et les besoins. Elle permet d'éviter les stress hydriques et les asphyxies racinaires.

Il faut un start-bac par unité de serre dont le stade végétatif est différent.

Évaporomètre : petites exploitations et scorie de charbon

La facilité d'installation et le faible coût de l'évaporomètre sont ses atouts majeurs pour les petites exploitations utilisant la scorie de charbon et ayant une petite surface sous serres (moins de 5 000 m²).

L'évaporomètre déclenche les irrigations lorsque la perte d'eau par évaporation d'un cylindre étalon placé dans la serre dépasse un certain seuil fixé par l'utilisateur. Cette technique tient compte des pertes d'eau, mais elle pose deux difficultés : la représentativité du site de l'évaporomètre et le choix du seuil de déclenchement.

Il faut un évaporomètre par unité de serre dont le stade végétatif est différent.

Comment fonctionne un start-bac ?

Sur un bac d'un mètre de long, on dispose un sac de substrat avec ses plantes, dont le fond en plastique a été enlevé. Entre le bac et le sac sans son fond, on place une aquanappe (feutre agissant comme une mèche) qui permet la migration de la solution nutritive du bac vers le module de substrat et ses plantes. L'absorption d'eau par les plantes fait baisser le niveau de la solution nutritive dans la réserve.

Le start-bac est équipé d'une sonde pour évaluer ce niveau : lorsque la sonde ne touche plus la solution, elle envoie un signal électrique qui provoque le déclenchement d'une irrigation pendant la durée programmée. Le réglage de la hauteur de la sonde est toutefois délicat (au millimètre près). De plus, le pilotage de l'électrovanne repose sur les 2 ou 3 plantes du module du start-bac. Si l'une d'elles est malade ou meurt, c'est l'irrigation de toute la serre qui est remise en cause.

Contraintes de l'évaporomètre

La complexité du fonctionnement de l'évaporomètre est liée au déclenchement de l'irrigation et au remplissage du cylindre étalon :

- l'évaporomètre doit être étalonné fréquemment pour tenir compte de l'évolution du stade physiologique des plantes. Pour cela, il faut modifier la hauteur de la sonde dans le cylindre étalon ;
- une arrivée d'eau jusqu'à l'évaporomètre doit être installée pour remplir le cylindre après chaque déclenchement d'irrigation, afin de permettre la réinitialisation du matériel.



Solarimètre : grandes exploitations

Le solarimètre est intéressant pour les exploitations de plus de 5 000 m², avec des cultures à différents stades végétatifs et ayant une plus grande capacité d'investissement.

Le solarimètre permet l'arrosage en fonction du rayonnement reçu. Cette technique est fondée sur une formule empirique de calcul des pertes en eau par évaporation sous serre à partir du rayonnement global reçu (de Villèle, 1974). Le rayonnement global est mesuré à l'extérieur de la serre à l'aide d'un pyranomètre.

Conseil à propos du solarimètre

La relation linéaire entre le rayonnement reçu et l'évapotranspiration potentielle sous serre de la formule de de Villèle (1974) n'est valable qu'à l'échelle de la journée, alors qu'elle est appliquée sur des pas de temps beaucoup plus courts, ce qui conduit à apporter trop d'eau à certains moments (le matin ou le soir) et pas assez vers midi.

Les producteurs ont appris à contourner ces difficultés en modulant des arrosages indépendamment de la mesure de rayonnement.

A la différence du programmeur, du start-bac ou de l'évaporomètre, qui gèrent l'irrigation à partir de mesures ponctuelles, les mesures effectuées avec le solarimètre sont valables à l'échelle de toute l'exploitation. Toutefois, pour chaque abri, il convient d'effectuer des paramétrages différents selon le stade de la culture.

L'emploi du solarimètre nécessite une station informatisée. A partir des mesures du solarimètre, la station permet de gérer les tours d'eau de l'exploitation : elle déclenche les irrigations à partir du calcul des cumuls de rayonnement et de leur comparaison avec la valeur seuil définie.

Pour suivre l'évolution des divers stades des cultures, il faut seulement modifier la valeur seuil de déclenchement pour chaque unité.

Ordinateur de fertigation

L'ordinateur de fertigation est un investissement onéreux dont la rentabilité nécessite de très grandes surfaces de culture sous serre.

L'ordinateur de gestion de la fertigation permet une gestion de l'irrigation commandée par des calculs d'évapotranspiration à partir de données mesurées du climat interne de la serre (température, rayonnement global, hygrométrie, coefficient cultural). La programmation de l'irrigation est décidée par l'ordinateur en fonction des besoins de la plante.

L'ordinateur ne prend pas en compte la réserve en eau des sacs de substrat organique car les logiciels sont conçus pour la culture sur laine de roche, or ce substrat n'a qu'une très faible rétention en eau. Les ordinateurs de ce type ne donnent donc pas entière satisfaction et, à La Réunion, leur maintenance reste une difficulté majeure.



© Photos S. Simon

Programmeur horaire.



Start-bac.



Solarimètre.



Evaporomètre.



© FDGDON

Système de filtration de l'eau :
filtre à sable, filtres
à chaussette, lampes UV.



© S. Simon

Bacs A et B de solution mère.

© Photos FDGDON



Les goutteurs de fertigation.



Cuves de solution mère.



Mélangeur dans la cuve de solution mère.



Electrovannes de distribution de la solution nutritive.

Fertilisation



La fertilisation des cultures hors sol est particulière. Les apports fertilisants sont calculés et rythmés en fonction de trois facteurs : les besoins de la culture selon son développement, le climat et le substrat. La faible « capacité tampon » du substrat implique l'observation régulière des paramètres de contrôle suivants : le taux de drainage, le pH, l'électroconductivité de la solution nutritive et celle de la solution de drainage.

Fertilisation

© FDGDON



Doseurs pour le mélange en fertigation.



Éléments minéraux indispensables à la tomate

Les éléments minéraux doivent être apportés sous une forme assimilable pour le système racinaire de la plante. Certains éléments interviennent en grandes quantités (tableau 22) : ce sont les macroéléments, c'est-à-dire l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le soufre (S), le silicium (Si). Les autres éléments, appelés oligoéléments, comme le fer (Fe), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le bore (Bo), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le chlore (Cl), etc., sont indispensables et ils interviennent en très petites quantités.

Tableau 22. Composition chimique d'un plant de tomate : teneurs et rôles des principaux éléments nutritifs, symptômes de carence.

| Élément nutritif | Mode d'absorption, mobilité entre les organes | Rôles | Symptômes de carence (ils débutent généralement par les feuilles de la base) |
|------------------|---|---|---|
| Azote (N) | Absorbé et utilisé principalement sous forme de nitrate (NO_3^-), en moindre quantité sous forme d'ammonium (NH_4^+), et de façon négligeable sous forme nitrite (NO_2^-) Peu mobile à l'intérieur de la plante | Premier constituant des protéines Synthèse d'acides aminés Croissance | Plante peu vigoureuse Folioles petites et vert pâle avec des nervures parfois violacées Petits fruits |
| Phosphore (P) | Absorbé par la plante sous forme d'ions H_2PO_4^- Mobile à l'intérieur de la plante Consommé en petite quantité | Facteur de précocité Enracinement Floraison (redistribution du phosphore des organes jeunes vers les inflorescences) Fructification (réserve dans les graines) Qualité des bouquets | Plante rabougrie Tiges très fines, coloration violette Folioles vert sombre, coloration violette de leur face inférieure (surtout les nervures) Folioles courbées vers le dessous Fruits creux et mal colorés Plante entière affectée par la suite |
| Potassium (K) | Absorbé et utilisé sous forme d'un cation monovalent K^+ Facilement absorbé Très mobile à l'intérieur de la plante C'est un des éléments les plus abondants dans la plante Besoins de la plante augmentent à partir de la floraison du troisième bouquet | Maintien de la pression osmotique Favorise le grossissement et la coloration du fruit | Les plantes réutilisent K par migration des tissus âgés vers les tissus jeunes : les symptômes visuels de déficience sont surtout visibles sur les feuilles les plus âgées Folioles : jaunissement internervaire en tache et dessèchement de leur partie périphérique Ramollissement des fruits |



Tableau 22 (suite).

| Élément nutritif | Mode d'absorption, mobilité entre les organes | Rôles | Symptômes de carence (ils débutent généralement par les feuilles de la base) |
|---|--|---|--|
| Calcium (Ca) | Absorbé et utilisé sous forme d'ion Ca^{++} Peu mobile Besoins en calcium plus élevés en début de culture : de la plantation à la floraison du deuxième bouquet | Élément important pour la croissance Constituant des parois cellulaires | Peu mobile dans les tissus des végétaux : les jeunes organes sont très sensibles aux carences Sur une même plante, on peut trouver des feuilles âgées ayant accumulé du calcium et des feuilles jeunes déficientes Nécrose apicale des fruits (<i>Blossom end rot</i>) due à une mauvaise alimentation des fruits Folioles vert sombre, plus pâles à jaunes en bordure du limbe Brunissement et nécrose du bourgeon terminal |
| Magnésium (Mg) | Absorbé et utilisé sous forme d'ions Mg^{++} Très mobile, surtout localisé dans les feuilles (très peu dans les racines) : en cas de déficience, Mg migre des feuilles âgées vers les tissus jeunes | Photosynthèse Synthèse des protéines, sucres et lipides Perméabilité cellulaire | Surtout sur les vieilles feuilles : apparition de chlorose, l'ensemble du limbe pâlit à l'exception d'une zone autour des nervures Baisse de la nouaison des fruits Petits fruits |
| Soufre (S) | Absorbé sous forme de sulfates (SO_4) Peu redistribué à l'intérieur de la plante Une partie du soufre contenu dans la plante peut rester sous forme SO_4 | Constituant des acides aminés Métabolisme des vitamines | Surtout sur les jeunes organes Coloration violette des tiges Léger jaunissement des folioles avec taches violettes et nécrotiques, coloration violette des nervures et des pétioles Plante entière affectée par la suite |
| Oligo-éléments : Fe, fer Zn, zinc Mn, manganèse B, bore Cu, cuivre Mo, molybdène Cl, chlore... | Indispensables en quantités très faibles | Fe : chlorophylle, respiration Zn : croissance, développement du fruit Mn : chlorophylle, métabolisme (azote) B : pollen, parois cellulaires, synthèse des protéines, métabolisme des glucides Cu : croissance, parois cellulaires Mo : métabolisme de l'azote | Fe : jaunissement (allant jusqu'au blanchiment) internervaire des folioles, sauf le long des nervures qui restent vertes Zn : plante rabougrie, folioles plus petites et enroulées avec jaunissement internervaire en petites taches pouvant se nécroser Mn : jaunissement internervaire des folioles débutant près des nervures, déformation et enroulement des folioles B : léger jaunissement internervaire des folioles qui restent de petite taille et s'enroulent, plante entière affectée par la suite Cu : plante rabougrie, enroulement des folioles, pétioles courbés vers le bas Mo : léger jaunissement internervaire des folioles qui enroulent, éclaircissement des plus fines nervures |



Interactions entre les éléments minéraux dans la solution nutritive

Les éléments minéraux présents dans la solution nutritive peuvent être soumis à des interactions. On parle d'interaction lorsque l'action d'un ion est modifiée par la présence d'un autre ion. Deux formes d'interaction existent :

- l'antagonisme entre deux ions. L'effet de l'un est atténué par l'autre ;
- la synergie entre deux ions. L'effet de l'un est amplifié par l'autre.

L'absorption d'un ion par la plante peut être perturbée par la présence d'autres ions antagonistes. Pour éviter ces antagonismes et pour assurer l'absorption de chaque élément, il suffit de respecter des équilibres précis entre certains ions dans la solution nutritive. Pour la tomate hors sol, c'est l'équilibre entre les ions K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} qui est important parce qu'une trop forte présence de potassium par rapport au calcium et au magnésium limite leur absorption (et réciproquement) :

$$\frac{K^+}{(Ca^{++} + Mg^{++})} = 0,4 \text{ à } 0,6$$

(teneurs exprimées en meq/l)

Carence ou excès

Lorsqu'un élément minéral manque et que la plante l'absorbe en quantité insuffisante, on parle de carence ou de déficience (figure 11).

Une déficience est un manque en un élément minéral indispensable à la croissance et au développement de la plante. Une déficience n'est pas décelée visuellement sur la plante.

Une carence correspond à un manque plus grave que la déficience. Des symptômes visuels apparaissent alors sur la plante.

Pour éviter ces carences, on pratique souvent des apports en excès, qui induisent une consommation de luxe : les apports sont supérieurs aux besoins. Toutefois, il faut faire attention à ne pas dépasser le seuil de toxicité de cet élément vis-à-vis de la plante et à respecter les équilibres entre ions pour éviter les antagonismes.

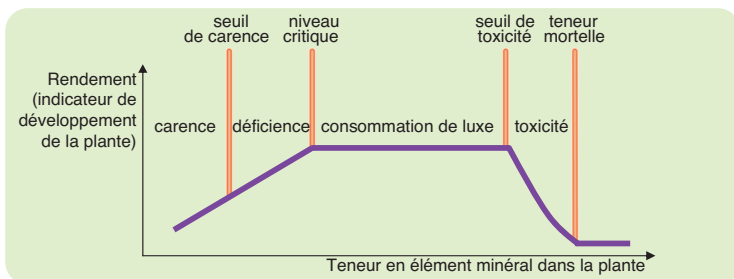


Figure 11. Le développement de la plante : relation entre le rendement et l'apport en éléments minéraux.



Préparation de la solution nutritive

La préparation de la solution nutritive se déroule en deux grandes étapes : la préparation de la solution mère puis la dilution pour obtenir la solution fille. Cette solution fille est communément désignée sous le nom de solution nutritive. Pour chacune d'elles, des techniques de contrôle doivent aussi être appliquées.

Une interdiction !

L'apport de produits phytosanitaires par la solution nutritive est interdit par la législation en vigueur.

Définitions et principes de dilution

La solution nutritive doit apporter à la plante les éléments minéraux nécessaires à son bon développement dans des proportions voisines à leur teneur dans la plante. La détermination de ces proportions repose sur des équilibres théoriques qui fixent des objectifs de concentration de chaque élément minéral, c'est-à-dire leur teneur dans la solution. Chaque élément minéral est considéré sous sa forme ionique et les calculs de concentration utilisent le plus souvent l'unité milliéquivalent par litre (meq/l).

Préparation de la solution mère

La solution mère est une solution très concentrée qui sert à dissoudre et à mélanger les différents engrais. La concentration de la solution mère est définie par le poids d'engrais dissout dans un volume d'eau (volume correspondant au récipient de préparation). Il y a donc des risques de précipitation de sels, en particulier du calcium avec les sulfates et les phosphates. Les éléments qui précipitent sont inutilisables par la plante et risquent de boucher le système d'irrigation (voir encadré et tableaux 22 et 23). C'est pourquoi la solution mère est fabriquée à l'aide de deux (ou plus) bacs distincts (tableau 24).

© Photos S. Simon



Pesée des engrais.



Stockage des engrais.



Solubilité des engrais et compatibilité

La préparation de la solution mère fertilisante obéit à deux règles :

- respecter la solubilité des formes d'engrais utilisées. Le tableau 22 donne la solubilité en kilos d'engrais pour 100 l d'eau par type d'engrais. Si on ne respecte pas cette règle, on court le risque d'obstruction du système d'irrigation ;
- éviter de mélanger des formes d'engrais incompatibles (tableau 23). Si on ne respecte pas cette règle, les matières chimiques précipitent entre elles et colmatent les conduits, les filtres, les goutteurs...

Solution mère pour une Serre de 500 m²

1 200 plants, 2 l/j de solution nutritive. Total : 2 400 l/jour de solution nutritive.

Pour obtenir la solution nutritive, la solution mère doit être diluée 200 fois au minimum :

- la consommation en solution mère est donc de 12 l/jour ($2\,400 / 200$) provenant pour moitié du bac A (6 l) et pour moitié du bac B (6 l) ;
- la préparation de 2 bacs A et B de 200 l de solution mère chacun permet d'alimenter les plants pendant un mois ($2 \times 200 / 12 = 33$ jours).

Comment lire les tableaux 27 à 32 des solutions nutritives ?

Les équilibres entre les concentrations des éléments minéraux de la solution nutritive sont présentés dans des tableaux à doubles entrées (tableaux 27 à 32, paragraphes *Adaptation de la solution nutritive aux stades physiologiques de la plante*) :

- en ligne, les anions
- en colonne, les cations.

La valeur chiffrée à l'intersection d'une ligne et d'une colonne donne la teneur des éléments concernés. A partir de ces tableaux, il est possible de choisir les engrais adaptés et les quantités à apporter.



Pour confectionner la solution mère, les règles sont les suivantes :

- choisir les équilibres adaptés au stade physiologique de la plante (tableaux 27 à 32) ;
- peser précisément les quantités d’engrais nécessaires à la fabrication de la solution mère (tableaux 27 à 32) ;
- remplir les deux bacs d’eau aux deux tiers ;
- ajouter les quantités d’engrais pesées pour chaque bac, agiter pour dissoudre totalement les engrais et compléter le volume d’eau nécessaire ;
- mélanger régulièrement la solution mère pour éviter la sédimentation des éléments au fond des bacs — si possible avant chaque déclenchement d’une fertigation, sinon une fois par jour au moins. L’idéal est de disposer d’un agitateur permanent dans chaque bac.

Tableau 22. Solubilité des engrais (d’après Fillols et Chabaliér, 2007).

| Fertilisants | Solubilité à 20 °C (kg pour 100 l d’eau) |
|---------------------------------|---|
| Nitrate de potassium | 13 |
| Nitrate de calcium | 102 |
| MKP (phosphate monopotassique) | 23 |
| Sulfate de magnésium | 71 |

Tableau 23. Compatibilité des engrais en solution mère.

| | Nitrate de calcium | Nitrate de potassium | MKP (phosphate monopotassique) | Sulfate de magnésium |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Nitrate de calcium | - | C | X | X |
| Nitrate de potassium | C | - | C | C |
| MKP (phosphate monopotassique) | X | C | - | X |
| Sulfate de magnésium | X | C | X | - |
| C : compatible ; X : incompatible. | | | | |

Tableau 24. Répartition des éléments dans les deux bacs A et B de la solution mère ; les bacs ont des volumes égaux, variant le plus souvent entre 50 et 100 l chacun.

| Bac A | Bac B |
|---------------------------|-----------------------------|
| Eau | Eau |
| Acide | Jamais d’acide |
| Jamais de calcium | Nitrate de calcium |
| Nitrate de potassium | Nitrate de potassium |
| Phosphate mono-potassique | Jamais de phosphates |
| Sulfate de magnésium | Jamais de sulfates |
| | Oligo-éléments + fer |



Obtention de la solution nutritive (solution fille)

La solution nutritive est obtenue par mélange en proportions égales des solutions mères des bacs A et B dans de l'eau, à raison d'un volume du mélange pour 200 à 500 volumes d'eau : par exemple, le mélange de 1 l de solution mère du bac A + 1 l de la solution mère du bac B avec 400 à 1 000 l d'eau donne 402 à 1 002 l de solution nutritive.

La dilution est réalisée de telle sorte que la concentration en engrais de la solution nutritive (mesurée par l'électroconductivité) est optimale pour le stade de développement considéré : en moyenne 2 mS/cm. Après avoir obtenu l'électroconductivité souhaitée, on régule le pH à 5,8 en ajoutant si nécessaire de l'acide nitrique dans le bac A.

Au moins une fois par jour, il faut vérifier l'électroconductivité et le pH de la solution nutritive à la sortie des goutteurs : cela permet de modifier le mélange de base pour répondre au mieux aux besoins des plantes (voir aussi *Contrôle de la solution nutritive*).

Contrôle de la solution nutritive

Trois paramètres de la solution nutritive doivent être régulièrement contrôlés :

- **le volume quotidien d'apport de solution nutritive.** Un ou deux capillaires supplémentaires sont branchés sur le réseau de fertigation et plongés dans un seau posé à proximité de ce point de prélèvement ;
- **le volume quotidien des eaux de drainage.** Ce contrôle est effectué sur 3 à 6 plantes. C'est faisable dans le cas d'un substrat organique conditionné en sacs ou dans le cas de scorie placée dans des pots ou dans de petites gouttières : l'inclinaison des contenants est inversée à l'aide d'un support étanche placé au-dessous et complété par une gouttière collectant le drainage vers un seau enterré dans l'allée. Il faut bien choisir les plantes qui vont être contrôlées : elles doivent être situées au centre de la serre et être représentatives de la moyenne des individus de la serre. De plus, il faut être très soigneux lors des pratiques culturales sur ces plantes : par exemple, la cassure de l'extrémité de la tige ou la chute d'un fruit entraîne une diminution de l'absorption d'éléments minéraux et d'eau, qui se traduit par une augmentation artificielle du drainage ;
- **le pH et l'électroconductivité** de la solution nutritive et des eaux de drainage. Le pH et l'électroconductivité sont mesurés sur ces échantillons à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductivimètre.



Volumes d'apport et de drainage

Le rapport entre les mesures du volume d'apport et du volume de drainage permet de déduire le taux de drainage, exprimé en pourcent. Le taux de drainage mesure la proportion de la solution du substrat qui a été renouvelée (tableau 25) :

$$\text{Taux de drainage (\%)} = \frac{Vd / y}{Va / x} \times 100$$

avec

Va, volume d'apport collecté avec x goutteurs,

Vd, volume de drainage issu de y plantes.

Tableau 25. Taux de drainage et conséquences pour l'irrigation.

| Valeur du taux de drainage calculé | Conséquences pour la gestion de l'irrigation |
|---|---|
| Proche de la consigne fixée (30 % en moyenne) Note : il peut être réduit à 10 % si le système de fertigation est performant dans sa régularité | La fréquence des fertigations répond aux besoins des plantes |
| Inférieur à la consigne | Augmenter la fréquence des irrigations pour éviter une concentration de l'engrais dans le substrat |
| Supérieur à la consigne | Réduire la fréquence des irrigations pour éviter le lessivage des substrats (gaspillage d'eau et d'engrais) |

© S. Simon



Mesure de l'apport et du drainage.

*Simplifier
le contrôle du drainage
(valeur souhaitée 30 %, supports à 3 plantes)*

Collecter le drainage des 3 plantes (Vd) arrosées par les 3 capillaires du même goutteur.

Collecter l'apport sur 1 plante avec son capillaire (Va).

Pour que le drainage soit d'environ 30 % (c'est-à-dire un tiers de l'eau apportée), le volume de drainage des 3 plantes (Vd) doit donc être égal au volume d'apport d'un seul capillaire (Va) :

- si $Vd = Va$, le taux est respecté ;
- si $Vd < Va$, il faut augmenter la fréquence d'irrigation ;
- si $Vd > Va$, il faut réduire la fréquence d'irrigation.



Acidité : $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$

Le paramètre d'acidité, mesuré par le pH, désigne le caractère acide, neutre ou basique d'une solution. Les solutions nutritives utilisées sont toujours légèrement acides, $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$, car cela réduit les risques de précipitation des matières fertilisantes dissoutes et cela permet une absorption optimale des éléments minéraux.

La solution nutritive est en réalité élaborée sur la base des besoins « théoriques » des plantes. Selon leur état physiologique et les conditions environnantes (ensoleillement, température...), ces besoins changent. Les plantes prélèvent seulement ce dont elles ont besoin (eau et ions) et laissent le reste. Cette absorption partielle entraîne alors deux types de modifications du pH :

- l'absorption préférentielle des anions (SO_4^{--} , NO_3^- , H_2PO_4^- , Cl^-) provoque l'alcalinisation, c'est-à-dire une augmentation du pH, de la fraction liquide au sein du substrat et, par conséquent, de l'eau de drainage ;
- l'absorption préférentielle des cations (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) provoque une acidification de la fraction liquide au sein du substrat, c'est-à-dire une baisse du pH.

C'est pourquoi, chaque jour le pH de la solution nutritive et le pH du drainage doivent être vérifiés : ce sont les variations entre les valeurs de ces deux pH qui sont intéressantes à interpréter. Elles renseignent sur les besoins réels et conduisent à modifier régulièrement la solution nutritive.

Electroconductivité (EC)

L'électroconductivité (appelée aussi conductivité) d'une solution représente la concentration globale en éléments minéraux de la solution. Elle se mesure à l'aide d'un conductivimètre électrique. Plus la solution est riche en engrais, plus elle conduit l'électricité et plus la conductivité est forte. L'unité de mesure est le Siemens par mètre. Pour les solutions nutritives, les valeurs sont faibles et s'expriment plus généralement en milliSiemens/cm.

$$\begin{aligned} &\text{Concentration en engrais de la solution nutritive (g/l)} \\ &= \\ &\text{EC de la solution nutritive (mS/cm)} \times 0,85 \end{aligned}$$



La valeur 0,85 est une valeur calculée et fixe : elle représente le facteur de corrélation entre la concentration en engrais et l'électroconductivité.

La conductivité optimale de la solution nutritive se situe entre 2 et 3 mS/cm. Elle dépend du climat, du stade végétatif et de la variété cultivée. La conductivité optimale de la solution de drainage est alors identique à celle de la solution d'apport : les ions et l'eau sont absorbés dans les mêmes proportions et, à priori, la plante ne manque de rien.

Pour le substrat, on tolère une conductivité de 3 à 4 mS/cm. Il faut éviter les variations brusques de conductivité dans le substrat car les racines s'adaptent seulement progressivement à leur environnement. Quand une correction est nécessaire, il vaut mieux modifier la conductivité de la solution nutritive par paliers de 0,2 à 0,3 mS/cm et observer les valeurs obtenues dans le substrat.

La concentration en engrais conditionne fortement le prélèvement de l'eau par la plante. L'absorption de l'eau par les racines est régulée par un équilibre entre la concentration minérale à l'intérieur des cellules des racines et celle à l'extérieur des racines : l'eau migre du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré. Selon la qualité du substrat, trois cas peuvent se présenter (figure 12) :

- L'électroconductivité (EC) du substrat est voisine de celle de l'intérieur des racines. L'eau et les solutés sont absorbés en quantité suffisante ;
- l'électroconductivité du substrat est faible. L'eau n'est pas très liée aux engrais et se déplace spontanément du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré, c'est-à-dire du substrat vers la plante. L'eau traverse facilement la membrane des cellules radiculaires ;

Electroconductivité de l'eau d'irrigation

L'électroconductivité de l'eau pure est nulle, ce qui n'est pas le cas de l'eau du robinet, notamment dans les zones où l'eau est calcaire. A La Réunion, les eaux ne sont pas calcaires et ne sont en général pas chargées : on peut considérer que, sauf exception, l'électroconductivité de l'eau employée pour la préparation des solutions nutritives est proche de 0 mS/cm.

Ajuster d'abord le taux de drainage puis la conductivité

Si le taux de drainage est anormalement faible ou élevé, il faut d'abord le réajuster avant d'intervenir sur la conductivité.

La plante réagit aux variations de la concentration d'éléments minéraux dans la solution. Une concentration trop faible en calcium entraîne, 2 à 3 semaines plus tard, l'apparition de nécroses apicales sur fruits. La végétation présente les mêmes symptômes lorsque l'irrigation est insuffisante.



– l'électroconductivité du substrat est forte. L'eau est trop liée aux engrais et il n'y a pas assez de différence de concentration entre le substrat et l'intérieur de la racine. L'eau n'est alors pas absorbée en quantité suffisante.

En cours de culture, la mesure de la conductivité de l'eau de drainage permet de résoudre deux problèmes (tableau 26) :

– la solution de drainage est plus concentrée que la solution d'apport. L'eau est préférentiellement absorbée par la plante. Le risque de phytotoxicité est lié à un excès de salinité dans le substrat. Si la conductivité est trop élevée dans la solution de drainage, il est déconseillé de la diminuer en arrosant à l'eau claire. Il est préférable de sur-irriguer 1 ou 2 jours avec une solution d'apport d'une conductivité légèrement inférieure à la normale (0,2 mS/cm en dessous de l'EC normale) tout en respectant un drainage de 30 % ;

– la solution de drainage est moins concentrée que la solution d'apport. Les ions sont préférentiellement absorbés par la plante. Les plantes risquent d'exprimer des déséquilibres. Il suffit alors d'augmenter progressivement l'électroconductivité de la solution d'apport.

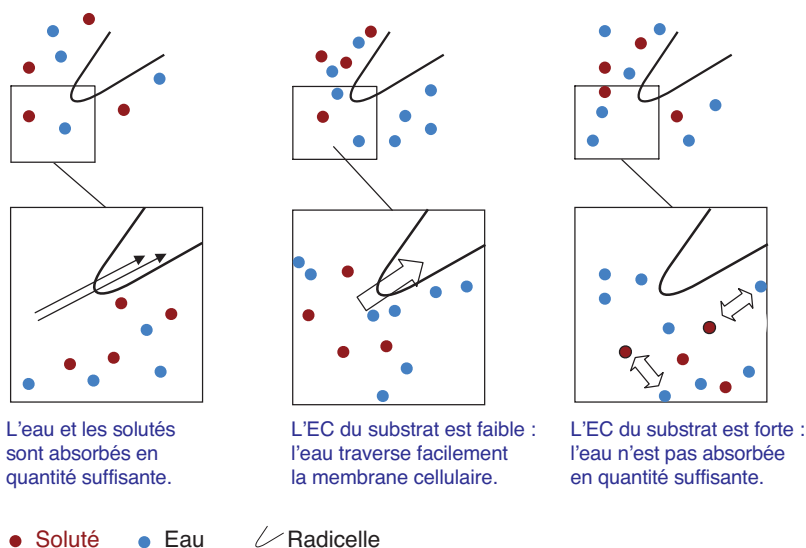


Figure 12. Effet de la concentration en engrais, donc de l'électroconductivité (EC) de la solution nutritive, au voisinage d'une racine.



Tableau 26. Modification de l'électroconductivité (EC) de la solution nutritive en fonction de l'électroconductivité de la solution de drainage, pour un drainage égal à 30 % (d'après CTIFL, 1995).

| EC solution nutritive | EC eau de drainage | |
|-----------------------|---|---|
| | trop faible (< EC solution nutritive) | trop forte (> EC solution nutritive) |
| Déjà faible | Augmenter l'EC de la solution nutritive | Problèmes cultureaux <ul style="list-style-type: none">• En début de culture, il peut s'agir d'une libération d'éléments par le substrat. Il faut alors augmenter le drainage• En cours de culture, cela peut s'expliquer par une diminution des prélèvements d'éléments minéraux par la plante. Il faut alors vérifier l'état des racines et la conduite climatique, puisque le climat de la serre intervient sur la transpiration des plantes |
| Normale | Augmenter l'EC de la solution nutritive | Diminuer l'EC de la solution nutritive |
| Déjà forte | Problèmes cultureaux <ul style="list-style-type: none">• En début de culture, il peut y avoir un stockage d'éléments dans le substrat. Exemple : absorption d'azote et développement d'une microflore• En cours de culture, il peut y avoir un prélèvement élevé d'éléments minéraux qui induit le développement de plantes vigoureuses. La conduite de la culture et celle du climat doivent être ajustées pour obtenir un meilleur équilibre. Il faut analyser la solution nutritive et le substrat | Diminuer l'EC de la solution nutritive |

© S. Simon



Mesure du pH et de la conductivité de la solution nutritive.

Particularités variétales et climatiques

Pour les variétés de tomate à gros fruits, la conductivité de la solution nutritive peut varier de 1,8 à 3 mS/cm suivant la variété, le stade et l'état de la plante, mais également en fonction du climat.

Les variétés à fruits oblongs demandent une conductivité plus faible (2 mS/cm).

En règle générale, on augmente la conductivité quand le temps est couvert ou quand la végétation « s'emballe » (une végétation excessive peut nuire à la fécondation).



Adaptation de la solution nutritive aux stades physiologiques

Suivant le stade physiologique de la plante, les éléments minéraux doivent être apportés selon des équilibres différents. Pour cela, nous distinguons les trois phases suivantes :

- du stade plantule au 3^e bouquet fleuri ;
- du 4^e bouquet fleuri à la récolte du 2^e bouquet ;
- de la récolte du 2^e bouquet à la fin de la récolte.

Première phase : plantule au 3^e bouquet fleuri (tableaux 27 et 28)

En première phase, la plante est en pleine croissance végétative. C'est une période où se développent les racines, la tige et les feuilles. Elle a des besoins élevés en calcium, magnésium, phosphore et azote.

L'équilibre entre les teneurs de K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} (meq/l) de la solution nutritive est le suivant :

$$\frac{K^+}{(Ca^{++} + Mg^{++})} = 0,4 \text{ à } 0,6$$

En cas de déséquilibre, la carence en calcium peut provoquer la nécrose des bourgeons terminaux ou augmenter la sensibilité aux maladies vasculaires.

De plus, cette étape d'enracinement augmente le pH du substrat. Un apport d'une partie de la fertilisation azotée sous forme d'ion ammonium NH_4^+ , qui est acidifiant, peut rectifier le pH.

Équilibres nutritifs utilisés à l'île de La Réunion

Au début de la culture de tomate hors sol à La Réunion, les solutions nutritives utilisées étaient des solutions mises au point pour une production de climat tempéré. Entre 1998 et 2000, une technique de contrôle de l'alimentation minérale de la tomate hors sol a été testée pour vérifier l'adaptation des solutions aux conditions tropicales locales (Boutillier et Bourglan, 2000). Cette technique repose sur la mesure des concentrations des éléments minéraux de la sève des gourmands. Les résultats d'analyse sont comparés à des gammes qui permettent de vérifier si chaque élément mesuré est en quantité suffisante dans la plante ou bien s'il est en déficience ou en excès. Elle permet de mettre en évidence des anomalies de nutrition avant l'apparition des symptômes visuels, la fertilisation pouvant être modifiée à temps.



Tableau 27. Solution nutritive pour tomate de la plantation jusqu'à la floraison du 3^e bouquet **sur substrats à base de fibre de coco ou de tourbe blonde**.

- Teneur des cations et anions (milliéquivalent par litre de solution).

| | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Total | Équilibres respectés |
|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|-------------|--|
| NH ₄ ⁺ | | 0,2 | | 0,2 | K / (Ca + Mg) = 0,41 N (total) = 15,7 meq/l |
| K ⁺ | 4,5 | 1,5 | | 6,0 | |
| Ca ⁺⁺ | 11,0 | | | 11,0 | |
| Mg ⁺⁺ | | | 3,5 | 3,5 | |
| Total | 15,5 | 1,7 | 3,5 | 20,7 | |

Note : les « totaux » servent à calculer les équilibres de la dernière colonne :
K / Ca + Mg, N (total) = (total NH₄⁺ + total NO₃⁻)

- Dose d'engrais (kg par bac de 50 l).

| Engrais | Dose (kg/bac de 50 l) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Bac A | |
| Nitrate de potasse | 2,35 |
| Phosphate mono-ammonique | 0,23 |
| Sulfate de magnésie | 4,37 |
| Phosphate mono-potassique | 2,05 |
| Bac B | |
| Nitrate de potasse | 2,35 |
| Nitrate de chaux | 11,6 |
| Oligo-éléments + fer | Selon la formulation commerciale |

Tableau 28. Solution nutritive pour tomate de la plantation jusqu'à la floraison du 3^e bouquet **sur substrats à base de scories de charbon**.

- Teneur des cations et anions (milliéquivalent par litre de solution).

| | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Total | Équilibres respectés |
|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|-------------|--|
| NH ₄ ⁺ | | 1,7 | | 1,7 | K / (Ca + Mg) = 0,42 N (total) = 16,7 meq |
| K ⁺ | 5,0 | | 0,5 | 5,5 | |
| Ca ⁺⁺ | 10,0 | | | 10,0 | |
| Mg ⁺⁺ | | | 3,0 | 3,0 | |
| Total | 15,0 | 1,7 | 3,5 | 20,2 | |

Note : les « totaux » servent à calculer les équilibres de la dernière colonne :
K / Ca + Mg, N (total) = (total NH₄⁺ + total NO₃⁻)

- Dose d'engrais (kg par bac de 50 l).

| Engrais | Dose (kg/bac de 50 l) |
|--------------------------|----------------------------------|
| Bac A | |
| Nitrate de potasse | 2,53 |
| Phosphate mono-ammonique | 1,96 |
| Sulfate de magnésie | 3,69 |
| Sulfate de potasse | 0,44 |
| Bac B | |
| Nitrate de potasse | 2,53 |
| Nitrate de chaux | 10,0 |
| Oligo-éléments + fer | Selon la formulation commerciale |

Deuxième phase : 4^e bouquet fleuri à la récolte du 2^e bouquet (tableaux 29 et 30)

La deuxième phase correspond à une période de grossissement et de pré-maturation des fruits. La plante augmente progressivement sa charge en fruits. La solution nutritive doit répondre à l’augmentation des besoins de croissance tout en favorisant la floraison et la fructification. Les besoins en potassium augmentent tandis que ceux en calcium, en magnésium et en nitrate diminuent.L’équilibre entre les teneurs de K⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ (meq/l) de la solution nutritive est le suivant :

$$\frac{K^+}{(Ca^{++} + Mg^{++})} = 0,7 \text{ à } 0,8$$

Pendant cette période, la carence vraie en calcium ou le rapport des teneurs de K⁺ / (Ca⁺⁺⁺ Mg⁺⁺) supérieur à 1 provoquent la nécrose apicale des fruits. La carence en calcium peut avoir d’autres causes, liées à une mauvaise absorption de cet élément :

- à cause de la température. La température du substrat influence beaucoup l’absorption du calcium. La température optimale dans le substrat serait de 18-20 °C. A 28 °C, l’absorption est aussi faible qu’à 14 °C ;
- à cause de l’antagonisme d’absorption entre le calcium et le potassium.

Tableau 29. Solution nutritive pour tomate de la floraison du 4e bouquet à la récolte du 2^e bouquet sur substrats à base de fibre de coco ou de tourbe blonde.

- Teneur des cations et anions (milliéquivalent par litre de solution).

| | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Total | Équilibres respectés |
|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|-------|--|
| NH ₄ ⁺ | | 0,1 | | 0,1 | K / (Ca + Mg) = 0,75 N (total) = 15,6 meq/l |
| K ⁺ | 6,5 | 1,5 | 1,0 | 9,0 | |
| Ca ⁺⁺ | 9,0 | | | 9,0 | |
| Mg ⁺⁺ | | | 3,0 | 3,0 | |
| Total | 15,5 | 1,6 | 4,0 | 21,1 | |

Note : les « totaux » servent à calculer les équilibres de la dernière colonne :
K / Ca + Mg, N (total) = (total NH₄⁺)(total NO₃⁻)

- Dose d’engrais (kg par bac de 50 l).

| Engrais | Dose (kg/bac de 50 l) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Bac A | |
| Nitrate de potasse | 3,40 |
| Phosphate mono-ammonique | 0,12 |
| Sulfate de magnésie | 3,75 |
| Sulfate de potasse | 0,94 |
| Phosphate mono-potassique | 2,05 |
| Bac B | |
| Nitrate de potasse | 3,40 |
| Nitrate de chaux | 9,47 |
| Oligo-éléments + fer | Selon la formulation commerciale |



Tableau 30. Solution nutritive pour tomate de la floraison du 4^e bouquet à la récolte du 2^e bouquet **sur substrats à base de scories de charbon.**

• Teneur des cations et anions (milliéquivalent par litre de solution).

| | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Total | Equilibres respectés |
|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|-------|--|
| NH ₄ ⁺ | | 1,5 | | 1,5 | K / (Ca + Mg) = 0,74 N (total) = 14,5 meq/l |
| K ⁺ | 6,0 | | 1,0 | 7,0 | |
| Ca ⁺⁺ | 7,0 | | | 7,0 | |
| Mg ⁺⁺ | | | 2,5 | 2,5 | |
| Total | 13,0 | 1,5 | 3,5 | 18,0 | |

Note : les « totaux » servent à calculer les équilibres de la dernière colonne :
K / Ca + Mg, N (total) = (total NH₄⁺ / total NO₃⁻)

• Dose d'engrais (kg par bac de 50 l).

| Engrais | Dose (kg/bac de 50 l) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Bac A | |
| Nitrate de potasse | 3,03 |
| Phosphate mono-ammonique | 1,73 |
| Sulfate de magnésie | 3,08 |
| Sulfate de potasse | 0,87 |
| Phosphate mono-potassique | - |
| Bac B | |
| Nitrate de potasse | 3,03 |
| Nitrate de chaux | 7,00 |
| Oligo-éléments + fer | Selon la formulation commerciale |

Troisième phase : récolte du 2^e bouquet à la fin de récolte (tableaux 31 et 32)

A la troisième phase, la plante a atteint son équilibre en charge de fruits. Les racines se renouvellent. C'est un stade où des manques en calcium peuvent se faire ressentir en particulier sur les jeunes fruits. La part du calcium est augmentée et l'azote total est diminué.

L'équilibre entre les teneurs de K⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ (meq/l) de la solution nutritive est le suivant :

$$\frac{K^+}{(Ca^{++} + Mg^{++})} = 0,62$$

Nutrition en pleine charge

En pleine charge, la plante a tendance à être moins vigoureuse à son extrémité, en général du 5^e au 8^e bouquet. Ce stress se manifeste par l'apparition précoce du dernier bouquet trop proche de l'apex et par la diminution du diamètre de la tige. Dans ce cas, il faut augmenter l'apport d'azote : il faut alors repasser de la troisième solution nutritive (tableaux 31 et 32) à la deuxième solution (tableaux 29 et 30) pendant 1 ou 2 semaines.



Tableau 31. Solution nutritive pour tomate de la récolte du 2^e bouquet à fin de culture **sur substrats à base de fibre de coco ou de tourbe blonde**.

- Teneur des cations et anions (milliéquivalent par litre de solution).

| | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Total | Équilibres respectés |
|---|------------------------------|---|------------------------------|-------|--|
| NH ₄ ⁺ | | | | 0 | K / (Ca + Mg) = 0,62 N (total) = 14,0 meq/l |
| K ⁺ | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 8,0 | |
| Ca ⁺⁺ | 10,0 | | | 10,0 | |
| Mg ⁺⁺ | | | 3,0 | 3,0 | |
| Total | 14,0 | 2,0 | 5,0 | 21,0 | |
| Note : les « totaux » servent à calculer les équilibres de la dernière colonne : K / Ca + Mg, N (total) = (total NH ₄ ⁺ / total NO ₃ ⁻) | | | | | |

- Dose d'engrais (kg par bac de 50 l).

| Engrais | Dose (kg/bac de 50 l) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Bac A | |
| Nitrate de potasse | 2,09 |
| Phosphate mono-ammonique | - |
| Sulfate de magnésie | 3,75 |
| Sulfate de potasse | 1,88 |
| Phosphate mono-potassique | 2,73 |
| Bac B | |
| Nitrate de potasse | 2,09 |
| Nitrate de chaux | 10,53 |
| Oligo-éléments + fer | Selon la formulation commerciale |

Tableau 32. Solution nutritive pour tomate de la récolte du 2^e bouquet à fin de culture **sur substrats à base scorie de charbon**.

- Teneur des cations et anions (milliéquivalent par litre de solution).

| | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Total | Equilibres respectés |
|---|------------------------------|---|------------------------------|-------|--|
| NH ₄ ⁺ | | 1,5 | | 1,5 | K / (Ca + Mg) = 0,94 N (total) = 13,7 meq/l |
| K ⁺ | 5,7 | | 2,3 | 8,0 | |
| Ca ⁺⁺ | 6,5 | | | 6,5 | |
| Mg ⁺⁺ | | | 2,0 | 2,0 | |
| Total | 12,2 | 1,5 | 4,3 | 18,0 | |
| Note : les « totaux » servent à calculer les équilibres de la dernière colonne : K / Ca + Mg, N (total) = (total NH ₄ ⁺ (total NO ₃ ⁻)) | | | | | |

- Dose d'engrais (kg par bac de 50 l).

| Engrais | Dose (kg/bac de 50 l) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Bac A | |
| Nitrate de potasse | 2,88 |
| Phosphate mono-ammonique | 1,73 |
| Sulfate de magnésie | 2,46 |
| Sulfate de potasse | 2,00 |
| Phosphate mono-potassique | - |
| Bac B | |
| Nitrate de potasse | 2,88 |
| Nitrate de chaux | 6,84 |
| Oligo-éléments + fer | Selon la formulation commerciale |



Station de fertilisation

La station de fertilisation est dimensionnée en fonction de la surface des serres de l'exploitation. Elle doit aussi tenir compte des extensions possibles (figure 13). Avant sa mise en place, il faut aussi prendre en compte la qualité de l'eau :

- adapter le système amont de filtration à la qualité physique de l'eau (suspensions plus ou moins importantes ou présence de débris végétaux) ;
- prévoir une analyse chimique de l'eau pour confirmer la pauvreté en éléments minéraux. A La Réunion, les eaux sont généralement assez pauvres.

Moins de 500 m² sous abri

- Deux bacs de 100 l pour fabriquer les solutions mères.
- Deux pompes volumétriques destinées à diluer les solutions mères dans l'eau d'irrigation.
- Deux filtres : un filtre en amont et un autre à la sortie de la station.
- Une vanne reliée à un petit programmeur intégrant la fenêtre d'irrigation (exemple : de 7 à 17 h), la durée d'une irrigation et l'intervalle entre deux irrigations.

Cette station de fertilisation est destinée à distribuer une solution unique évoluant en fonction du stade de la culture. Elle est bien adaptée à une petite exploitation qui conduit toutes ses productions hors sol avec la même solution. Elle ne permet pas de conduire simultanément plusieurs serres de tomates à des stades physiologiques différents.

Exploitation intermédiaire (500 à 2 000 m²)

Pour une exploitation intermédiaire, la station de fertilisation est plus compliquée et plus grande que la précédente (figure 13).

- 4 bacs de 100 l pour fabriquer plusieurs solutions mères en fonction des stades culturaux (figure 13). Ces 4 bacs permettent la confection de 2 solutions nutritives différentes.
- 4 pompes volumétriques (une pompe par bac de solution mère).



- 3 filtres : 1 en amont et 2 à la sortie de chaque solution nutritive.
- 2 électrovannes pour différencier les fréquences d'irrigation et découpler ainsi les réseaux. Deux possibilités de liaison : chacune est reliée à un programmeur simple voie ou bien les 2 vannes sont reliées à un programmeur horaire pouvant gérer les 2 voies.

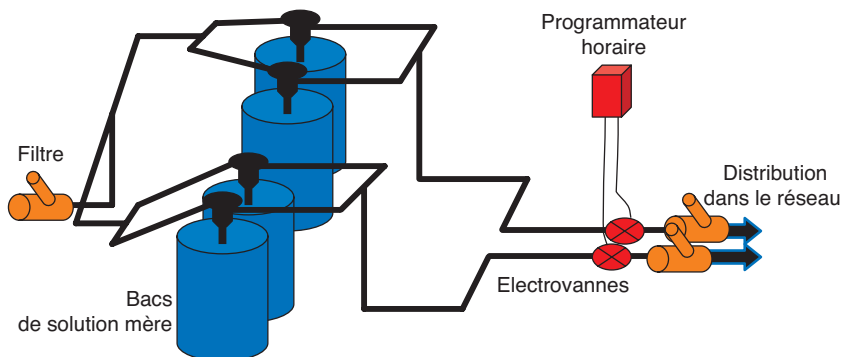


Figure 13. Schéma général d'une station de fertilisation : cas d'une exploitation intermédiaire.

Grande exploitation de plus de 2 000 m² sous abri

Dans une grande exploitation de plus de 2 000 m² sous abri, la fertigation peut être adaptée à chaque stade de culture et à chaque variété. Les réseaux d'irrigation de chaque serre sont reliés à une station d'irrigation capable de gérer la distribution automatique des solutions nutritives selon les consignes fixées.

- 1 bac mélangeur relié soit aux 6 bacs de solutions mères correspondant aux 3 solutions nutritives (1 solution par stade physiologique), soit à des bacs individuels par élément fertilisant.
- 1 pompe de reprise assure ensuite la distribution des solutions vers les différentes serres.
- L'injection d'engrais et d'acide est asservie à des sondes de contrôle de la conductivité et du pH. La station d'irrigation permet de gérer automatiquement la valeur du pH en procédant à des injections à partir d'un bac spécifique contenant de l'acide nitrique. Si la correction induit des variations permanentes du pH, cela peut être dû à une trop forte

concentration de l'acide : dans ce cas, il est nécessaire de diluer l'acide nitrique du commerce avec de l'eau.

- Même si l'automatisme permet d'être libéré de toute intervention systématique, il faut penser à régler les systèmes d'alarme en cas de défaillance et vérifier fréquemment la conductivité et le pH des solutions nutritives.



© Photos FDGDON

Station de fertigation type Heliotec ®.



Programmateurs de fertilisation.



© S. Simon



Station de fertigation avec un bac mélangeur couplée à un programmeur d'irrigation.



Cuves pour fertilisation et acide.



© Photos FDGDON



Nettoyage de la serre.



Fin de culture avec apex coupés.



Blessures de frottement.

Entretien de la culture



La croissance indéterminée des plants de tomate impose un palissage continu qui débute deux semaines après la plantation. Il faut aussi supprimer les feuilles sénescentes et les ramifications secondaires. Enfin, la pollinisation naturelle en plein champ doit, sous les abris, être remplacée artificiellement par les techniques de vibration ou de soufflage.

© F. Le Bellec



Entretien de la culture



Palissage

Le palissage consiste à maintenir le plant autour d'un support. Sous serre, on utilise de la ficelle horticoles de 2 à 3 mm de diamètre. Si elle est trop fine (moins de 2 mm), elle peut blesser la tige, mais si elle est trop grosse (plus de 3 mm), elle ne permet pas des enroulements suffisants sur les bobines ou les crochets.

Le palissage est toujours une opération délicate, effectuée en général une fois par semaine, parce qu'une plante saine et non stressée s'allonge de 20 à 30 cm par semaine. Si on prend du retard, on risque de casser la tête au moment de la manipulation.

Ficelles : précautions importantes !

Au moment de la plantation, si la ficelle n'est pas passée sous la motte, il faut faire une boucle ou un nœud autour du collet. Le nœud doit être ni coulant ni trop serré pour éviter l'étranglement au stade adulte.

Au plus tard 2 semaines après plantation, il est important de prévoir une inclinaison des ficelles dans le sens de la « descente » des plantes (figure 15). Cela évite la cassure ultérieure du collet lors de la première descente de la végétation, notamment si le plant a pris une orientation opposée à celle du sens de palissage souhaité.

Enroulement ou clips

Deux techniques de palissage sont possibles (figure 14) :

– faire tourner la plante autour de la ficelle de palissage. La ficelle doit toujours être enroulée dans le même sens sur la tige, par exemple le sens des aiguilles d'une montre ;

– poser des « clips » en plastique (éventuellement réutilisables après désinfection en fin de cycle). Le clip de palissage doit être placé entre deux feuilles et jamais à proximité d'un bouquet : juste au-dessus du bouquet, il risque d'en briser le pétiole quand la plante grandira et, juste au-dessous, il peut blesser le bouquet en cas de léger affaissement du plant. Le palissage à l'aide de clips est cher mais il est vite amorti : le temps de main-d'œuvre est réduit et le stress causé aux plantes par les manipulations est limité.



Clip. © S. Simon

© Photos S. Simon



Enroulement.



Palissage avec clips.

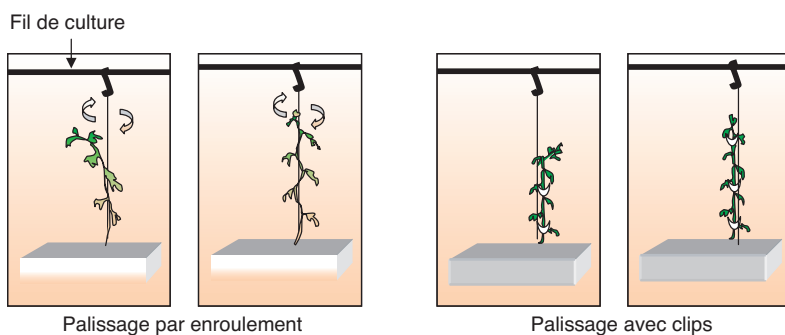


Figure 14. Deux techniques de palissage des plants.

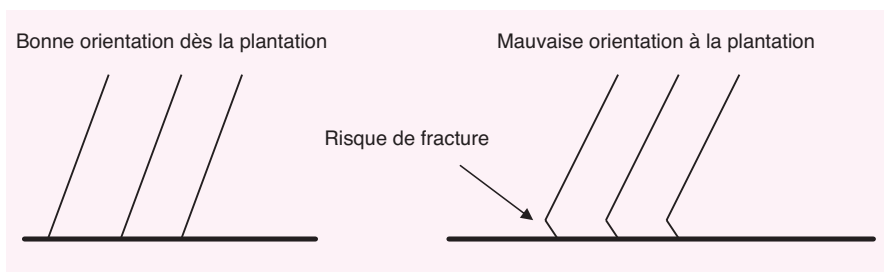


Figure 15. Inclinaison des ficelles dans le sens de la descente des plants.



Descente des plants

Quand la tête des plants palissés atteint le fil de culture, trois techniques de conduite de culture sont possibles :

- arrêter le plant par l'éêtage (uniquement si la plante est « fatiguée » car elle ne produira quasiment plus) ;
- conduire le plant le long du fil de culture (pas du tout pratique pour la taille et la récolte des derniers bouquets) ;
- faire descendre les plants. Dans ce cas, il faut avoir installé des crochets spécialement adaptés pour gagner du temps.

Quatre précautions pour la descente

- Si la descente est trop brusque ou si l'avancement est insuffisant, la tige risque de plier ou casser.
- Au moment de la descente, les fruits du bas ne doivent pas toucher le sol.
- Si le déplacement latéral est trop large par rapport à la descente, les racines risquent d'être arrachées (quand on descend le plant de 20 cm, on doit l'avancer de 20 cm).
- En fin de ligne, pour continuer à descendre sur l'autre ligne du double-rang, il faut faire tourner les plants en virage large. Cette opération est difficile. On peut installer un piquet qui servira de support au virage des plants.

En quoi consiste la « descente des plants » (figure 16) ? Quand la tête atteint le fil de culture, il faut dérouler la ficelle du crochet de la longueur de descente souhaitée (par exemple 20 cm) et décaler le crochet d'autant (20 cm). La tige va se coucher au sol en formant une courbe régulière.

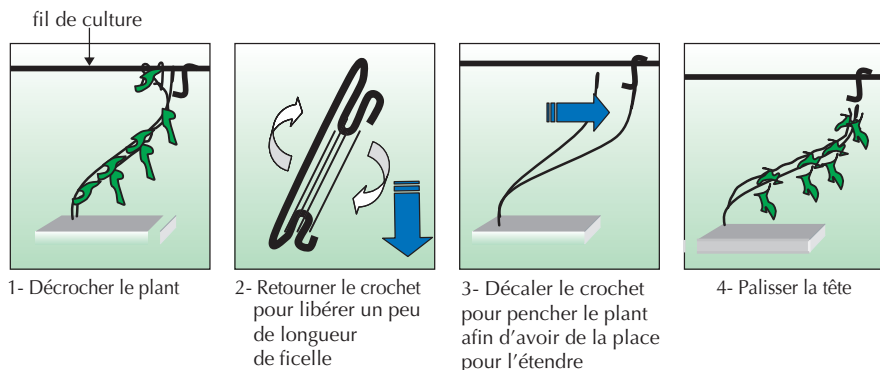


Figure 16. Technique de palissage d'un plant avec crochet de palissage pour « descendre » le plant.



© FDGON

© S. Simon

Bobines et crochets de palissage.

Taille

La taille est effectuée après le palissage. En effet, les risques de casse étant plus importants au palissage, il est ainsi encore possible de laisser un bourgeon axillaire pour remplacer la tête si elle a été cassée.

Il ne faut pas prendre de retard dans la taille, sinon les bourgeons deviennent trop gros, la plaie a plus de mal à cicatriser et c'est une porte d'entrée pour les maladies. La plante a alors tendance à s'affaiblir et les fruits grossissent moins (d'où une perte de calibre et de rendement).

Évacuation des déchets de taille

Les déchets de taille sont souvent des réservoirs de parasites, il faut donc les sortir de la serre :

- éviter leur balayage qui dissémine les parasites abrités dans les déchets ;
- les ramasser par petits tas dans des sacs plastiques ou à l'aide d'un chariot de récolte ;
- les brûler rapidement aux abords de la serre.

Ebourgeonnage

L'ébourgeonnage consiste à casser ou à couper les bourgeons axillaires qui se développent à l'aisselle des feuilles. Il est réalisé une fois par semaine.

Sur une plante trop vigoureuse, on peut laisser se développer un bourgeon axillaire : on lui laisse 1 ou 2 bouquets avant de l'ététer. Toujours choisir le bourgeon le plus fort, celui qui se trouve juste en dessous d'un bouquet. Cette pratique rééquilibre la plante.

Sur une plante à faible végétation en tête, on peut conserver un bourgeon axillaire en ne gardant sur celui-ci qu'une ou deux feuilles. Les feuilles de l'apex de la plante stimulent sa croissance en créant un



appel de sève brute (nécessaire à la photosynthèse), alors que la présence de fruits la ralentit en induisant la consommation de sève élaborée.

Effeuillage

Le nombre de feuilles et le nombre de fruits doivent être équilibrés. Les jeunes feuilles sont une réserve de produits issus de la photosynthèse (sève élaborée) pour les fruits. Les vieilles feuilles sont davantage consommatrices que productrices. L'effeuillage des vieilles feuilles se justifie donc dans deux cas :

- lorsqu'elles sont en compétition avec les bouquets. Situées au niveau des fruits, elles créent un ombrage qui réduit la pénétration de la lumière ;
- lorsqu'elles sont déhiscentes. Elles constituent alors des organes « puits » qui accumulent dans leurs tissus le calcium et le potassium au détriment des jeunes feuilles et des fruits. A ce stade, elles sont également moins efficaces pour la photosynthèse.

L'effeuillage a lieu dans la semaine avant chaque récolte. Toujours en partant de la base du plant, l'idéal est de retirer trois feuilles par semaine ou seulement deux feuilles si la croissance est ralentie. En pratique, on enlève toutes les feuilles se trouvant dans l'intervalle entre deux bouquets (appelé aussi inter-bouquet).

Le premier effeuillage consiste à retirer deux feuilles sous le premier bouquet et une feuille au-dessus pour aérer et laisser passer la lumière sur les fruits.

Le deuxième effeuillage élimine toutes les feuilles du bas jusqu'au premier bouquet.

Ensuite, les effeuillages ultérieurs consistent à enlever les feuilles du dernier inter-bouquet.

L'effeuillage est réalisé tôt le matin. Les plantes sont turgescentes et les pétioles sont plus cassants. Les plaies de taille cicatrisent avant la nuit et cela évite l'apparition de pourriture (botrytis).

Effeuillage et protection intégrée

L'effeuillage ne doit pas perturber la population des auxiliaires. Par exemple, si des larves d'aleurodes parasitées et non écloses sont présentes en grand nombre sous les feuilles, il faut décaler un peu l'opération d'effeuillage ou bien maintenir quelque temps sous l'abri les feuilles coupées pour permettre l'émergence des auxiliaires.



La **plaie de taille** doit toujours être nette afin de favoriser la cicatrisation et d'éviter les infections fongiques. En raison des risques de flétrissement bactérien, l'effeuillage est effectué à la main sans aucun outil (l'outil peut être le vecteur d'agents pathogènes depuis un plant malade vers les plants sains voisins).

Taille des bouquets

La taille des bouquets consiste à retirer les fleurs à l'extrémité des bouquets en fonction du taux de nouaison et du calibre souhaités. Ces deux paramètres sont liés : si le taux de nouaison est élevé, on peut obtenir beaucoup de fruits de petit calibre et si, au contraire, on réduit la nouaison, on favorise l'obtention de fruits plus gros.

Pour la grosse tomate ronde, il est recommandé de garder cinq ou six fruits par bouquet pour réduire la charge de la plante.

Pour la petite tomate, il est inutile de tailler les bouquets, sauf pendant l'été austral, qui est aussi la saison des pluies.

La taille des bouquets doit en principe être entreprise avant la nouaison. A La Réunion, dans la pratique, en basse altitude, la taille des bouquets varie suivant l'époque :

- en hiver austral, la nouaison est généralement bonne et on peut tailler les bouquets avant la nouaison ;

Eviter la pliure des bouquets

Quand les tomates grossissent, la hampe du bouquet peut se plier, notamment lorsque les plants manquent de lumière. Cela peut réduire le calibre des fruits car la sève circule moins bien et le bouquet est moins bien nourri. Trois techniques peuvent résoudre en partie la pliure du bouquet :

- laver la couverture des abris si elle a été blanchie et que les conditions climatiques défavorables persistent ;
- attacher les bouquets sur la tige avec un élastique « bracelet » ou avec des attaches spécialement étudiées (mais elles ont un coût bien supérieur aux élastiques simples). Attacher demande une main-d'œuvre importante ;
- gratter avec les ongles la hampe du bouquet au moment de la nouaison ; la cicatrisation liégeuse renforce la résistance du pédoncule. Cette pratique est efficace quand elle est effectuée dès la nouaison des jeunes fruits.



– en été austral, la nouaison étant parfois difficile, on taille les bouquets lorsque quatre ou cinq fruits sont noués.

Fécondation

La tomate est une plante très fortement autogame. L'ouverture des anthères, qui sont soudées en un tube autour du pistil, se fait à l'intérieur de ce tube. La floraison commence au lever du jour et l'émission de pollen est croissante depuis le lever du jour jusqu'au milieu de l'après-midi avec une légère baisse en fin de journée. Chaque fleur a une espérance de vie d'environ 3 jours.

Les deux techniques de fécondation sont la vibration mécanique, ou vibrage, et le soufflage. Vibrage et soufflage subviennent à l'absence d'insectes pollinisateurs à La Réunion, tel que le bourdon en France métropolitaine, et au retrait du produit phytopharmaceutique Tomatone® (substance de croissance et de nouaison).

Elles sont réalisées quand le pollen émis est fertile — le pollen tombe dès que l'on secoue quelques fleurs. Le rythme est d'au moins trois passages par semaine lors des floraisons.

Pour une bonne fécondation, la température idéale est de 15 à 20 °C. Des émissions de pollen sont observées à des températures plus élevées, mais la viabilité du pollen est moins bonne. L'hygrométrie idéale est inférieure à 85 %. Au-dessus d'une humidité de 85 %, la viabilité du pollen est réduite et sa diffusion est perturbée par l'agglomération des grains.

Vibrage mécanique

Les conditions les plus favorables pour le vibrage sont les suivantes :

- en basse altitude, au milieu de la matinée et en fin d'après-midi (températures propices et hygrométrie faible) ;
- en zone des « hauts », en milieu de journée, car c'est le moment où l'hygrométrie est la moins élevée.



Vibrage. © S. Simon

Soufflage

Le soufflage consiste à utiliser un atomiseur à vide et à souffler au niveau des fleurs. C'est une technique rapide et facile à appliquer. Pour une serre de 1 000 m², le soufflage prend 15 à 20 minutes. La plupart des agriculteurs emploient un pulvérisateur à dos à moteur (atomiseur). Le souffleur manuel est très rarement utilisé (version légère et manuelle d'appareils utilisés dans l'entretien des jardins pour souffler les feuilles).

Le soufflage est effectué lorsque la température sous serre ne dépasse pas 15 à 18 °C (avec une préférence pour 15 °C) et plutôt le matin, selon des modalités qui varient en fonction du climat extérieur :

- par forte humidité (temps nuageux, pluie), il faut souffler avant l'ouverture des fleurs (lorsque les fleurs sont ouvertes, le pollen reste collé et ne tombe pas) ;
- par temps ensoleillé, le soufflage peut se faire avant l'ouverture des fleurs ou quand elles commencent à s'ouvrir.

En haute ou basse altitude, par souci de rendement, le soufflage est pratiqué trois fois par semaine.

En haute altitude, le soufflage semble indispensable à cause de la forte humidité.

Le soufflage, une technique très récente

Le soufflage s'est plus ou moins généralisé lorsque le produit phypharmaceutique Tomatone® (substance de croissance utilisée pour favoriser la fécondation) a été interdit en juin 2006. Il n'y a pas de modalités homogènes d'application du soufflage : chaque agriculteur fait selon ses propres observations. Il est donc pour l'instant difficile de statuer sur l'efficacité réelle du soufflage. Les études de terrain sont en cours pour définir les modalités d'application et les résultats sur le rendement. Les premières observations de 2007-2008 sont les suivantes :

- le rendement hebdomadaire est hétérogène mais acceptable ;
- les résultats sont mitigés en période pluvieuses (plus de 3 jours de pluie consécutifs).

© FDGON



Souffleurs pour la fécondation.



Récolte

Stade étoile blanche, difficile à identifier

Le stade le plus précoce est le stade « étoile blanche » : une très légère décoloration blanchâtre en forme d'étoile est présente sur la face inférieure du fruit autour de la cicatrice du style. Mais il est rarement retenu car délicat à identifier, notamment sur les variétés de forme oblongue.

Selon la saison et les circuits de commercialisation, la récolte est effectuée deux ou trois fois par semaine.

Le stade de récolte varie principalement selon la commercialisation prévue. Il sera d'autant plus précoce que le circuit de vente est long (vente en hypermarché).

Le stade de récolte le plus répandu est le stade « point rosé » : une petite surface de couleur rosée apparaît à la face inférieure du fruit. Après ce stade, le fruit ne grossit plus sur le plant mais continue sa maturation après récolte.

Pour révéler toutes leurs qualités organoleptiques, certaines variétés doivent être récoltées à maturité (fruits rouges) tout en gardant une bonne fermeté, gage de conservation malgré les manipulations ultérieures.

Les fruits sont manipulés délicatement. Ils sont posés dans la caisse. La caisse ne doit pas être trop remplie pour éviter l'écrasement de fruits lors des empilements.

Pour les récoltes en vrac, les fruits sont cueillis sans leurs pédoncules pour éviter les blessures post-récolte.

Au fur et à mesure de la récolte, les fruits sont placés dans un endroit ombragé, aménagé à proximité de la serre.

Pour faciliter la récolte, la solution la plus simple et la plus rapide consiste à s'équiper de chariots sur lesquels peuvent être disposées deux ou trois caisses. Un premier tri est ainsi possible pendant la cueillette (écarts et couleur), voire un pré-calibrage.

Fin du cycle cultural

On a trop souvent tendance à négliger la fin d'une culture, alors que les conséquences peuvent être néfastes pour la suivante.



Poursuite de la récolte. Lorsque l'arrêt de la culture est programmé, on peut encore récolter les fruits présents à condition d'ététer les plantes 3 à 4 semaines avant la date d'arrachage. Les bourgeons axillaires, dont le développement est plus rapide après l'ététage, seront taillés plus fréquemment pendant ce laps de temps.

Maintien du palissage. Le palissage est maintenu autour de la ficelle car les derniers fruits, en grossissant, peuvent casser l'extrémité de la tige. L'effeuillage est progressif, c'est-à-dire au fur et à mesure de la récolte, afin de dégager les bouquets. Trois feuilles au minimum par bouquet sont gardées pour assurer l'alimentation des fruits.

Substrat. Si les substrats ne sont pas réutilisés, l'arrêt de l'arrosage quelques jours avant l'arrachage facilite leur manipulation. Pendant les derniers jours, les plantes s'alimentent à partir de la réserve de solution nutritive du substrat (ce qui en allège le poids).

Si le cycle suivant est envisagé sur le même substrat, les plantes sont sectionnées au collet après la dernière récolte, et les racines laissées en place. Les sacs soupçonnés d'être contaminés par un agent pathogène sont évacués et remplacés par de nouveaux sacs. Les vieux plants sont rapidement sortis de la serre pour éviter la propagation des parasites aériens.

Traitements phytosanitaires. Les traitements phytosanitaires sont poursuivis jusqu'à la fin de la culture, et pendant la période de vide sanitaire, sinon les parasites prolifèrent et réapparaissent sur la culture suivante.

Fertigation et réseau. Tout le réseau de fertigation est rincé à l'eau claire, sans oublier de vérifier les filtres et les pompes doseuses.

Nettoyage et désinfection. Après avoir soigneusement débarrassé la serre de tous les débris végétaux, il est souhaitable de désinfecter l'abri et le paillage plastique avec des produits homologués. Il faut éviter de laver le paillage plastique avec du matériel sous pression : le jet peut déchirer le paillage et les éclaboussures peuvent contaminer le substrat. Les ficelles et crochets de palissage sont désinfectés si leur réutilisation est envisagée. L'interculture est également un moment favorable pour le curage et l'entretien des canaux d'évacuation des eaux de pluie et de drainage.

Vide sanitaire. La durée du vide sanitaire est de 15 jours au moins, et se termine par des traitements fongicides et insecticides compatibles avec la lutte intégrée.



© Photos FDGON



Tracabilité.



Consignes de sécurité.

Principes de protection phytosanitaire



Dans un contexte d'exigences environnementales et sanitaires de plus en plus fortes, la stratégie phytosanitaire choisie par l'agriculteur doit être respectueuse de la santé humaine et de l'environnement.

© FDGDON



Protection phytosanitaire



Protection biologique intégrée

Adaptée aux cultures sous serre, la protection biologique intégrée (PBI) est une stratégie globale de protection contre l'ensemble des problèmes phytosanitaires d'une culture (tableau 33). Elle est fondée sur le respect d'une bonne prophylaxie et fait appel en priorité aux moyens physiques, génétiques et biologiques. Elle vise à maintenir, par ces différents moyens, les populations d'organismes nuisibles à un niveau économiquement acceptable. La bonne gestion des fins de culture associée à une prophylaxie rigoureuse dans la serre et à ses abords contribue réellement à la réussite de cette stratégie.

La protection biologique intégrée se substitue à la protection chimique conventionnelle. Toutes les méthodes de lutte biologique sont privilégiées. Actuellement, on utilise surtout des arthropodes (auxiliaires) et des microorganismes pour lutter contre les insectes et les acariens ravageurs des cultures. Mais la lutte biologique est aussi possible contre les champignons et les bactéries pathogènes.

Les traitements chimiques ne sont utilisés qu'en dernier recours, ce qui préserve mieux la santé du producteur et de son personnel et contribue à la sécurité alimentaire des produits récoltés. Ces traitements, qui doivent être ciblés sur des ravageurs précis, ont pour but de stopper les infestations dès l'apparition des premiers symptômes ou individus. Les traitements chimiques doivent être choisis en fonction de leur innocuité sur les auxiliaires et appliqués en fonction des observations de la culture (repérage des foyers de ravageurs). Selon les produits, un délai plus ou moins long doit être respecté avant l'introduction des auxiliaires.

Les auxiliaires élevés et utilisés à La Réunion

Les lâchers doivent être réalisés en quantité suffisante, au bon moment et sur de bas niveaux de populations de ravageurs.

- *Encarsia formosa* et *Eretmocerus eremicus* pour lutter contre les deux espèces d'aleurode *Trialeurodes vaporariorum* et *Bemisia tabaci*
- *Aphidius colemani* pour lutter contre les pucerons dont *Myzus persicae*
- *Phytoseiulus persimilis* pour lutter contre les acariens tétranyques

Tableau 33. Avantages et contraintes de la protection biologique intégrée en culture sous serre à La Réunion.

| Avantages | Contraintes |
|--|---|
| <p>Nombre réduit de traitements chimiques et réduction des coûts</p> <p>Respect de l'environnement</p> <p>Respect de la sécurité du consommateur (moins de risques de résidus) et du personnel de l'exploitation</p> <p>Préservation des auxiliaires</p> <p>Limitation des risques d'apparition de résistance</p> <p>Personnel formé à l'observation et à la reconnaissance des organismes nuisibles et des auxiliaires</p> <p>Meilleure anticipation des problèmes phytosanitaires</p> <p>Image moderne et responsable de la profession</p> | <p>Gamme actuelle d'auxiliaires restreinte</p> <p>Demande d'autorisation pour le lâcher d'espèces non présentes dans l'environnement, en application du décret n°2007-15 du 4 janvier 2007 modifiant l'article R.411 du code de l'environnement</p> <p>Choix restreint des produits phytosanitaires compatibles et autorisés sur tomate</p> <p>Niveau élevé de technicité demandé aux producteurs</p> <p>Gestion difficile de la pression des viroses transmises par vecteurs (TYLCV, PVY, ToCV...)</p> <p>Nombreux microclimats, donc des conditions différentes et une forte pression parasitaire tout au long de l'année</p> |

Prévention des maladies et ravageurs : la prophylaxie

La prophylaxie est l'ensemble des mesures visant à prévenir et protéger la culture contre les maladies et ravageurs. Dans une stratégie de protection biologique intégrée, la prévention des infestations et des contaminations est déterminante pour la réussite de la culture.

Elle repose sur deux principes :

- le choix d'un environnement bénéfique à la plante et défavorable au développement des organismes nuisibles ;
- la mise en place d'un ensemble de mesures complémentaires à toute stratégie de protection phytosanitaire.

Elle se décompose en quatre phases :

- prévoir les risques phytosanitaires ;
- surveiller régulièrement et rigoureusement l'état des cultures ;
- détecter et éradiquer rapidement les sources de maladies et de ravageurs ;
- développer la communication au sein de l'ensemble de l'équipe du personnel de l'exploitation.

Bonnes pratiques au bon moment

Dans la première partie *Aménagement des serres*, la prophylaxie à l'intérieur et à l'extérieur des serres est détaillée pour l'ensemble du cycle de culture. Toutes les mesures décrites ont pour but de détruire les réservoirs d'organismes nuisibles et d'éviter leur introduction et dissémination.



Bonnes pratiques des traitements phytosanitaires

En serre, la protection biologique intégrée permet de réduire fortement le nombre de traitements chimiques. Toutefois, lorsqu'une intervention chimique est nécessaire, le choix du produit phytosanitaire obéit à certains critères. Les produits phytosanitaires, nommés également pesticides ou produits phytopharmaceutiques, sont des intrants coûteux et dangereux. En les employant, l'applicateur engage entièrement sa responsabilité. Il doit donc connaître les caractéristiques de ces produits pour les utiliser de façon rationnelle. Les conditions d'application du produit doivent garantir la sécurité de l'applicateur, du consommateur et de l'environnement.

Généralités sur les produits phytosanitaires

Chaque produit, ou spécialité commerciale, se caractérise par sa composition et sa formulation. Les constituants des spécialités ont des propriétés techniques propres qui conditionnent leur utilisation sur la culture : mode d'emploi, toxicité sur la santé humaine et sur l'environnement.

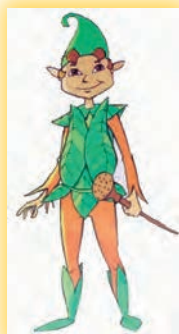
L'étiquette : tout y est indiqué

L'étiquetage des produits phytosanitaires est obligatoire. Il est soumis à une réglementation stricte. Toutes les informations qui y sont mentionnées sont importantes. Elles sont indispensables pour la réussite des traitements et contiennent des conseils d'emploi précieux (conditions d'emploi et de stockage pour le meilleur résultat, consignes de sécurité...). Avant tout achat de produits et tout traitement, il faut lire l'étiquette.

Usage agricole et usage amateur

Parmi les spécialités commerciales, certaines sont réservées à des usages agricoles et sont vendues sous la condition d'être agriculteur.

D'autres sont destinées aux amateurs et portent la mention « EAJ » (Emploi autorisé dans les jardins) associée à un logo spécifique, la mascotte du génie des jardins UTIN.





Composition

Les produits phytosanitaires contiennent une ou plusieurs matières actives et des adjuvants.

Les matières actives : c'est le principe actif du produit. La concentration en matière active est notée sur l'emballage (à ne pas confondre avec la dose d'application de produit commercial, qui est exprimée par hectare ou par hectolitre). Les matières actives sont caractérisées par une famille chimique dont dépend la toxicité du produit ainsi que les prédispositions à l'apparition de résistance des organismes nuisibles. Une même spécialité peut associer plusieurs matières actives appartenant à des familles chimiques différentes.

Les adjuvants. Ce sont par exemple des mouillants, des anti-mousses, ou des solvants... Ils permettent l'utilisation de la matière active et ils en améliorent aussi l'efficacité.

Formulation

La formulation du produit correspond à la présentation de la spécialité commerciale : poudre mouillable, poudre soluble, poudre utilisée « à sec », concentré liquide soluble, concentré liquide émulsionnable, concentré solide, suspension de capsules, appât sur granulés, granulés encapsulés, granulés émulsionnables, liquide ou gel prêt à l'emploi, poudre de contact prêt à l'emploi...

Elle détermine le mode d'emploi du produit : préparation de la bouillie, épandage, rinçage du matériel et stockage des produits.

La formulation influe sur la toxicité du produit commercial. Les poudres (mouillable, soluble et poudrage) et les concentrés liquides (solubles et émulsionnables) présentent plus de risques pour l'applicateur et l'environnement.

Toxicité pour l'utilisateur

La formulation finale définit la toxicité du produit par rapport à la santé de l'utilisateur (tableau 34) : l'application présente certains dangers si l'utilisateur ne respecte pas les consignes de sécurité ni les bonnes pratiques agricoles. Les nouvelles dispositions pour mieux encadrer l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (arrêté interministériel du 12 septembre 2006) prévoient, entre autres, un délai minimal de 8 h pour entrer dans une serre après un traitement. En fonction de la toxicité du produit, ce délai peut être porté à 24 ou 48 h (les risques figurent sur l'étiquette du produit).



Urgence : intoxication

Premiers gestes sur une personne intoxiquée

- Restez calme
- Assurez la protection de la victime
- N'attendez pas que les symptômes de l'intoxication apparaissent pour alerter
- Eviter de la faire vomir
- Evitez de lui donner à boire (ni eau, ni lait)
- Evitez de lui donner à manger
- En cas de projection sur la peau et l'œil : lavez à l'eau claire pendant 10 à 15 min
- En cas d'émanation de gaz irritant ou toxique dans un espace fermé, aérez bien les locaux

Alertez ou faites alerter les secours (La Réunion)

- Centre antipoison et de toxicovigilance de Marseille : 04 91 75 25 25
[< URL <http://www.centres-antipoison.net/marseille/index.html>]
- le 15 (SAMU)
- ou les urgences de Saint-Pierre au 02 62 35 99 87
- ou le 112 (numéro d'appel d'urgence européen)

Les informations à transmettre






- L'âge de la (ou des) victimes, le poids, la taille
- La dénomination du (ou des) produits à l'origine de l'intoxication : gardez l'emballage, le mode d'emploi et la notice à portée de main, faites collecter ces renseignements par votre entourage
- A quelle heure et en quelle quantité le produit a-t-il été ingéré ou inhalé (temps d'exposition) ?
- Que s'est-il passé (accident, tentative de suicide, accident collectif...) ?
- Donnez le plus de détails possibles. Ces données permettront d'accéder à la fiche de sécurité du produit et de décider du soin adapté

Pour l'évaluation des risques (La Réunion)

- Appeler le réseau Phyt'attitude au numéro vert 0800 887 887
- ou la Caisse générale de la Sécurité Sociale au 02 62 90 47 00
[www.cgss-reunion.fr rubrique « Prévention des risques professionnels »]



Tableau 34. Les symboles du degré de nocivité pour l'utilisateur et définitions officielles. Ils sont mentionnés sur les étiquettes des produits.

| Pictogramme | Symbole | Dangers |
|---|---------|---|
|  | T+ | Très toxique Par inhalation, ingestion ou pénétration par la peau, ce produit peut provoquer des risques extrêmement graves, aigus ou chroniques et même la mort |
|  | T | Toxique Par inhalation, ingestion ou pénétration par la peau, ce produit peut provoquer des risques graves, aigus ou chroniques et même la mort |
|  | Xn | Nocif Par inhalation, ingestion ou pénétration par la peau, ce produit peut provoquer des risques de gravité limitée |
|  | Xi | Irritant Produit non corrosif. Par contact immédiat prolongé ou répété avec la peau ou les muqueuses, il peut provoquer une réaction inflammatoire |
|  | C | Corrosif Produit qui peut détruire les tissus vivants par contact |

La toxicité du produit pour l'environnement

Les produits phytosanitaires ont des effets sur l'environnement, notamment sur les insectes utiles, sur la faune en général et sur les milieux aquatiques (rivières, nappes phréatiques...) (tableau 35).


La toxicité des spécialités vis-à-vis des abeilles est inscrite sur l'étiquette du produit dans le chapitre « conditions d'utilisation ». Trois mentions différentes peuvent figurer :

- emploi autorisé pendant la floraison en dehors de la présence d'abeilles ;
- emploi autorisé au cours des périodes de production d'exsudats en dehors de la présence d'abeilles ;
- emploi autorisé durant la floraison et au cours des périodes de production d'exsudats en dehors de la présence d'abeilles.

La toxicité des spécialités sur les auxiliaires des cultures n'est connue que pour certaines spécialités. Rapprochez-vous de votre technicien pour établir la toxicité de vos produits sur la faune auxiliaire.



Tableau 35. Indication de nocivité pour l'environnement sur l'emballage.

| Pictogramme | Symbole | Dangers |
|---|---------|--------------------------------|
|  | T+ | Dangereux pour l'environnement |

Consignes pour choisir un produit phytosanitaire

- 1 • Identifier la maladie ou le ravageur responsable des dégâts et des symptômes observés sur la culture.
- 2 • Sélectionner un produit homologué pour la culture de la tomate. L'usage est définie par la plante, une partie de la plante et un organisme nuisible. Les conditions d'emploi du produit (dose, mode d'application) doivent être scrupuleusement respectées.
- 3 • Sélectionner un produit ayant un délai d'emploi avant récolte adapté au stade de la culture.
- 4 • Eviter d'utiliser les produits classés toxiques et encore homologués, qui sont voués à disparaître. Ainsi, le plan interministériel de réduction des risques liés aux produits phytopharmaceutiques prévoit pour la période 2006-2009 des mesures visant à réduire de 50 % les ventes des substances les plus dangereuses pour la santé humaine.
- 5 • Écarter tout produit toxique pour les auxiliaires utilisés en protection biologique intégrée. En cas de doute, pour connaître la toxicité d'un produit sur les auxiliaires, contacter un technicien spécialisé.

Homologation : tenez-vous au courant des réglementations

Un produit phytosanitaire doit être homologué sur la culture et pour l'usage visé. Un usage est défini par une plante ou une partie de la plante ou un parasite : par exemple tomate, partie aérienne, *Bemisia tabaci*.

Chaque spécialité commerciale est autorisée sur une gamme de cultures précise, à des doses déterminées, pour des usages bien définis et des modes d'application précis. Il est donc important de se tenir au courant des évolutions réglementaires, notamment des décisions de retrait d'homologation.

Le site Internet du ministère de l'Agriculture et de la Pêche <http://e-phy.agriculture.gouv.fr> est la source officielle d'informations sur l'homologation des produits phytosanitaires.

Index phytosanitaire et le logiciel PhytActa de l'ACTA <http://www.acta.asso.fr> donne également de nombreuses informations pratiques.



6 • Alternier les familles chimiques pour des traitements contre un même ravageur ou une même maladie afin d'éviter les phénomènes de résistance aux matières actives.

7 • Choisir le produit préventif ou curatif :

- il protège la plante contre des ennemis, c'est l'effet préventif ;
- il détruit l'ennemi responsable des symptômes observés, c'est l'effet curatif ou éradiquant.

8 • Choisir le produit selon son mode d'action :

- le produit reste à la surface du végétal. C'est un produit de contact qui pourra avoir un effet de choc sur une population de ravageurs, mais il sera facilement lessivable après une pluie et ne protégera pas les nouvelles pousses ;

- le produit pénètre dans le végétal. Dans ce cas, il y a deux types de produit. Soit il circule par la sève, on parle alors de systémie ascendante ou descendante, ces propriétés systémiques sont très intéressantes face à des ravageurs qui se nourrissent de la sève (pucerons cicadelles...). Soit il pénètre uniformément la surface des feuilles, on parle alors d'effet translaminaire, cette propriété est intéressante face à des ravageurs qui se nourrissent du suc cellulaire (thrips, tétranyques...).

Consignes à respecter avant, pendant et après un traitement

Préparation de la bouillie

1 • Aménager un lieu de préparation des produits afin d'éviter les fuites dans l'environnement. La zone de préparation doit être à côté du local de stockage, elle doit être bétonnée avec de préférence un système de récupération des effluents. Une arrivée d'eau est conseillée pour la préparation de la bouillie et en cas de contact accidentel avec un produit.

2 • Respecter les doses prescrites sur l'emballage pour la culture concernée (par exemple 40 g/hl, 200 ml/hl...). Le pesage de poudres en petite quantité pose souvent le problème de la précision des balances utilisées.

3 • Ne pas fumer, ne pas boire ni manger durant toute la durée de préparation de la bouillie.

4 • Surveiller l'opération de remplissage de l'appareil pour éviter tout débordement.

5 • Préparer la quantité strictement nécessaire du produit. Le mouillage, c'est-à-dire la quantité de bouillie par unité de surface, doit être



adapté à la surface à traiter et au stade de la culture : s'il est insuffisant, le produit peut être inefficace, s'il est trop élevé, il y a risque de phytotoxicité sur la culture.

- 6 • Bien vider les emballages.
- 7 • Emballages plastiques de moins de 20 l : les rincer trois fois, vider leurs eaux de rinçage dans le pulvérisateur et les percer pour qu'ils ne soient pas réutilisés. Maintenir les étiquettes lisibles dans leur intégralité. Une fois séchés, les stocker dans un sac, sans leur bouchon.
- 8 • Pour les emballages de 25 l et plus, ne pas les rincer et les stocker avec leur bouchon.
- 9 • Conserver les emballages vides dans votre local de stockage en attendant de les déposer au lieu de collecte.
- 10 • Utiliser les équipements de protection individuels appropriés (masque, gants, bottes, combinaison). Ils doivent être rangés dans un local ou une armoire sans produit phytosanitaire pour éviter toute contamination. Vérifier la date d'utilisation de la cartouche filtrante du masque.

Application du produit

- 1 • Toute personne utilisant la préparation phytosanitaire (bouillie, poudre...) aux diverses étapes (préparation, application, rinçage du matériel) doit avoir pris connaissance des préconisations relatives au produit commercial. Il est de la responsabilité du chef d'exploitation d'informer correctement le personnel.
- 2 • Ne pas fumer, ne pas boire ni manger durant toute la durée de l'application du produit.
- 3 • Utiliser les équipements de protection individuels appropriés.
- 4 • Utiliser un matériel bien réglé et bien entretenu. Un entretien régulier et un étalonnage annuel sont nécessaires.
- 5 • Respecter les conditions d'emploi mentionnées sur l'étiquette (dose, délai avant récolte, nombre maximal d'applications, indication de zones traitées...).
- 6 • Traiter si possible avant le lever du soleil, proscrire les heures les plus chaudes et vérifier la température quand il existe des risques de phytotoxicité avérés (cas du soufre). En hiver austral : au lever du soleil pour favoriser l'assèchement rapide des gouttes et éviter l'installation des maladies fongiques (entre 5 et 10 h, avant 8 h pour les zones fortement ensoleillées) ; en été austral, on peut aussi traiter en fin de journée vers 17 h.

Dose de produit en fonction du type d'appareil

Deux types d'appareils de traitement sont utilisés pour les applications sous abri : le pulvérisateur à dos manuel et le pulvérisateur à dos à moteur (atomiseur).

En fonction de l'appareil, des buses ou encore du stade de développement de la culture, le volume de bouillie apporté par unité de surface peut varier du simple au double. Avant tout traitement, il faut étalonner l'appareil et adapter la vitesse d'application

Exemple de calcul de dosage

Bouillie à 1 000 l/ha d'eau

Concentration en matière active du produit commercial : 100 g/l

Dose préconisée de matière active : 25 g/ha

Dose du produit commercial : $25 / 100 = 0,25$ l/ha

Pour une surface à traiter de 500 m² (0,05 ha) :

– bouillie 50 l d'eau

– quantité de produit $0,25 \times 0,05 = 0,0125$ l = 12,5 ml

Collecte des emballages

Dans le cadre de la mise en place du traitement des déchets industriels dangereux à La Réunion, il est conseillé de stocker les emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP) dans un endroit sec à l'abri du soleil en attendant la collecte. Des sites de dépôt des EVPP sont communiqués lors des campagnes de collecte. Les déchets sont ensuite regroupés sur une plateforme agréée, la Société de transports et d'assainissements Réunion (STAR, Sainte Suzanne, tél. 02 62 52 18 65), puis broyés avant envoi en Métropole pour le traitement. Les campagnes de collecte sont organisées par la Chambre d'agriculture avec les distributeurs : se renseigner auprès de la cellule Environnement de la Chambre d'agriculture de Saint-Pierre (tél. 02 62 96 20 50).

Protégez-vous !

Les produits phytosanitaires sont dangereux. Leurs effets sur la santé peuvent être immédiats ou chroniques. La préparation de la bouillie en manipulant le produit pur est une phase délicate qui mérite de l'attention et des précautions particulières. Les vêtements de protection sont indispensables durant tout le traitement, depuis la préparation de la bouillie jusqu'au rinçage des appareils de traitement. Parmi les vêtements de sécurité à utiliser, le choix du masque est important (tableau 36).

Pour les utilisateurs de pulvérisateurs à dos, les équipements de protection individuelle portés lors de la préparation des produits doivent être conservés pendant toute la durée du traitement. Il est recommandé de porter une combinaison imperméable afin de se protéger contre le ruissellement de la bouillie dans le dos. Le port d'un masque à poussière est inefficace et il est impératif de porter un masque à cartouche pour se préserver des embruns des pulvérisations aériennes.

Tableau 36. Choisir un masque.

| Lieu du traitement | Indice de protection | Type de masque |
|---|---|---|
| Traitement sous serre Espace confiné | A2.B2.P3 Filtre respiratoire A : gaz et vapeurs organiques Filtre respiratoire B : gaz et vapeurs inorganiques et vapeurs acides Classe 2 : capacité moyenne de filtration du masque pour des concentrations de polluants inférieures à 0,5 % Filtre P3 : poussières et très fines particules toxiques, produits chimiques en poudre, etc. | 1/2 masque à cartouche + lunettes ou Masque complet à cartouche |

Après le traitement

- 1 • Eliminer les reliquats. Pour ne pas avoir de fond de cuve à gérer, le volume de bouillie préparé doit être adapté à la surface traitée.
- 2 • Nettoyer le pulvérisateur.
- 3 • Nettoyer systématiquement les protections individuelles et les ranger dans leur local (hors du local de stockage des produits).
- 4 • Se laver les mains et le visage avec du savon ou, mieux, se doucher. Les équipements de protection une fois lavés et séchés sont stockés dans un autre local que celui du stockage des produits.
- 5 • Changer de vêtements.





Où éliminer les reliquats et les eaux de rinçage ?

En cas d'absence d'un lieu spécifique sur l'exploitation équipé d'un dispositif de récupération des effluents phytosanitaires (bac de rétention) : épandre le fond de cuve, après une dilution de 5 fois dans l'eau, ou les eaux de rinçage sur une zone non cultivée de l'exploitation. Attention : au maximum un épandage par an sur la même zone.

Il est possible de récupérer les petits volumes dans des emballages vides qui seront éliminés lors des campagnes de collecte des produits phytosanitaires non utilisés. Les grandes entreprises peuvent réaliser cette opération en utilisant un bac de rétention.

Comment éliminer les produits phytosanitaires non utilisables (PPNU) ?

Un PPNU est un produit phytosanitaire, entamé ou non, à usage professionnel et non utilisable (détérioré, retiré et interdit d'emploi, etc.). Le produit dans son emballage d'origine avec son étiquette est stocké dans un carton à part bien identifié « PPNU » dans le local phytosanitaire, à l'abri du soleil et de l'humidité. Pour les emballages percés ou détériorés, les mettre dans un sac plastique étanche. Ces déchets sont ensuite éliminés lors des campagnes de collecte des emballages.

Comment éliminer les plastiques agricoles usagés (PAU) ?

Les PAU sont les paillages au sol, les bâches des serres, les films et bâches d'ensilage, les tuyaux d'irrigation sans les embouts en PVC. Il faut les ramasser par temps sec, les trier, éliminer la terre et les résidus végétaux, les plier et les stocker à l'abri du soleil et de l'humidité en veillant à ce qu'ils ne constituent pas une source de problèmes sanitaires (moustiques, rats, etc.). Ces déchets sont ensuite éliminés lors des campagnes de collecte dans un circuit local de recyclage.

Règlements en vigueur et opérations de collecte (PPNU, EVPP, PAU)

Le règlement sanitaire départemental et le code de l'environnement interdisent le brûlage, l'enfouissement et le stockage en dépôt sauvage des PPNU, EVPP et PAU. Les opérations de collecte de PPNU, EVPP et PAU sont organisées par la Chambre d'agriculture et ADIVALOR (Agriculteurs distributeurs industriels pour la valorisation des déchets de l'agrofourmiture).

Pour en savoir plus : se rapprocher de la cellule Environnement du SUAD à la Chambre d'agriculture

(tél : 02 62 96 20 50 - environnement.suad@reunion.chambagri.fr).



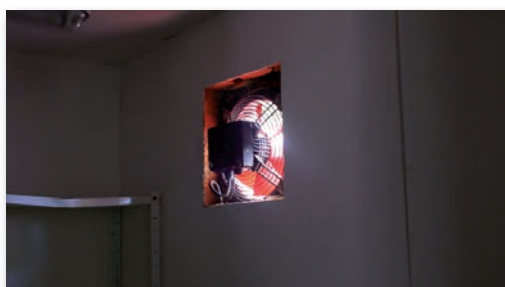
© Photos FDGON



Stockage des EVPP.



Etagère de produits.



Ventilation.



Principaux problèmes phytosanitaires



*Cette partie détaille les ravageurs
et les maladies les plus fréquemment
observés sur tomate sous abri
à l'île de La Réunion.*

© Photos P. Ryckewaert



Aleurodes ou mouches blanches

Ravageurs

Bemisia tabaci, *Trialeurodes vaporariorum*

Bemisia tabaci est vecteur :

- du virus des feuilles jaunes en cuillère (*Tomato yellow leaf curl virus*, ou TYLCV), dont deux souches ont été isolées, la plus récente étant la plus agressive ;
- du virus de la chlorose (*Tomato chlorosis virus*, ou ToCV).

Trialeurodes vaporariorum est vecteur du ToCV.



Adulte, *Bemisia tabaci*.

Description

Les adultes sont de couleur blanche et sont, comme les larves, des piqueurs suceurs de sève.

L'adulte de *T. vaporariorum* mesure 1,5 mm de long. Les larves de dernier stade, appelées puparium, ont les côtés bien droits, avec des grandes soies et sont plutôt plates. Les œufs sont blanchâtres puis marrons 1 à 2 jours après la ponte.



Pupe, *Bemisia tabaci*.

L'adulte de *B. tabaci* est légèrement plus petit. Les pupes (appelées puparium au 4^e stade) ont les côtés obliques, avec des soies plus fines, moins longues et moins nombreuses.

Symptômes

Dégâts directs. Les piqûres provoquent l'affaiblissement et le jaunissement de la plante, et une baisse de production.

Dégâts indirects. Présence de miellat (substance collante sécrétée surtout par les larves) et de fumagine (champignons de couleur noire qui se développe sur le miellat) sur les feuilles et les fruits. Diminution de la photosynthèse des feuilles due à la fumagine. Transmission des viroses TYLCV et ToCV.



Aleurodes et dégâts de fumagine sur feuilles.

Reconnaissance sur le terrain

Les pupariums sont facilement visibles à la face inférieure des feuilles :

- celles de *B. tabaci* se rencontrent à tous les étages de la plante ;
- celles de *T. vaporariorum* se trouvent plutôt sous les feuilles du bas de la plante.

Conditions favorables

T. vaporariorum se rencontre dans toutes les zones de l'île.

B. tabaci préfère les températures chaudes et les zones de basse altitude.

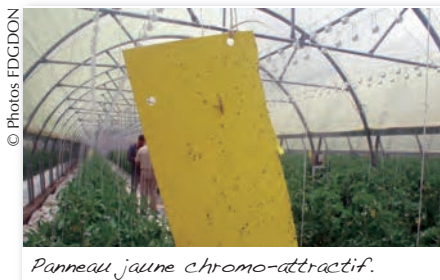
Principales plantes sensibles

Plantes cultivées : tomate, aubergine, concombre, courgette, melon, chou, haricot, poivron, etc.

Nombreuses plantes adventices : pourpier courant *Trianthema portulacastrum*, herbe-à-bouc *Ageratum conyzoides* subsp. *Conyzoides*, armoise *Artemisia vulgaris* L., piquant *Bidens pilosa* L., mille-feuille *Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker, ravenelle *Raphanus raphanistrum* L., herbe-de-lait *Euphorbia heterophylla* L., etc.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie. Surveiller la culture et les panneaux jaunes englués pour détecter l'arrivée des premiers aleurodes. Ils sont d'abord visibles à proximité des ouvertures (entrées, ouvrants). Les panneaux sont des feuilles plastifiées de couleur jaune qui servent de pièges chromo-attractifs pour certains insectes. La couleur jaune est utilisée notamment pour les aleurodes, les pucerons et les mouches. La glue permet de les piéger.



Serres insect-proof

Le climat tropical de La Réunion favorise la présence des aleurodes toute l'année. La pression parasitaire des aleurodes et le risque élevé de transmission de viroses font que l'utilisation de serres étanches aux insectes (*insect-proof*) est recommandée, d'autant plus qu'en basse altitude (< 600 m) et en l'absence de cooling, il est nécessaire d'ouvrir les demi-lunes en été pour l'aération. Dans les hauts (> 600 m), l'ouverture permet de diminuer le taux d'humidité.



Repérer les premiers foyers. Effectuer un effeuillage régulier pour limiter les infestations tout en veillant à ne pas éliminer les éventuels auxiliaires (pupes parasitées).

Protection biologique avec les auxiliaires

Encarsia formosa et *Eretmocerus eremicus*

Les lâchers des micro-guêpes auxiliaires *Encarsia formosa* et *Eretmocerus eremicus* permettent de réguler les populations d'aleurodes. La protection biologique impose des mesures prophylactiques ainsi qu'un suivi régulier et rigoureux de la culture. Pour la mise en place de la lutte biologique intégrée, le mieux est de contacter un technicien spécialisé.

Protection chimique

En raison du risque de transmission de viroses, les traitements localisés doivent débuter dès l'apparition des premiers foyers dans la serre et faire appel à des produits compatibles avec la protection biologique intégrée.

En cas de forte population, observer avec une loupe les stades des aleurodes pour décider du type de traitement à réaliser (larvicide ou adulticide).

Bien mouiller la face inférieure des feuilles où sont les aleurodes.

Ces ravageurs sont résistants à divers insecticides et peuvent poser de nombreux problèmes. Il faut donc alterner les familles chimiques et utiliser des produits respectueux de la faune auxiliaire. Les produits ayant une action systémique sont généralement les plus efficaces.



Pupes parasitées (noires)
par *Encarsia* sur feuille.



Lâcher d'auxiliaires.



L'auxiliaire *Eretmocerus eremicus*.

Thrips

Ravageurs

Frankliniella occidentalis, *Thrips tabaci*

Les thrips sont encore peu fréquents sur tomate mais ils peuvent se rencontrer en pépinière sur jeunes plants. Ils constituent un danger potentiel en tant que vecteurs de plusieurs espèces de Tospovirus dont le virus de la maladie bronzée de la tomate (*Tomato spotted wilt virus*, ou TSWV).

Description

Les thrips sont des insectes piqueurs, videurs de cellules végétales, dont les larves sont jaune pâle et les adultes brun foncé.

L'adulte de *F. occidentalis* mesure 0,9 à 1,5 mm de longueur et celui de *T. tabaci* 0,7 à 1,2 mm. Des taches brunes sont présentes sur la partie dorsale de l'abdomen. Les larves sont plus claires. La nymphose a lieu dans les premiers centimètres du substrat, sous les déchets végétaux ou sous les sacs de culture.

Symptômes

Dégâts directs. Les feuilles se recouvrent de points blanchâtres puis de plages argentées et desséchées. Présence de déjections noires à la surface inférieure du limbe. Dessèchement des fleurs et des bourgeons. Mouchetures brunes avec un halo blanchâtre sur fruits verts (confusion possible avec les taches « fantômes » de *Botrytis*) et traces liégeuses sur fruits mûrs. Parfois déformation des fruits atteints.

Dégâts indirects. Transmission du virus TSWV. *F. occidentalis* est l'espèce la plus active dans la transmission de ce virus.

Reconnaissance sur le terrain

Les dégâts (points et taches blanchâtres) et les insectes sont facilement visibles sous les feuilles.

Conditions favorables

Sécheresse et chaleur.



Thrips : dégâts sur feuille.

© FDGDON



Principales plantes sensibles

Nombreuses cultures légumières et florales.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

La pose de panneaux bleus englués facilite le repérage des thrips et le suivi des populations.

Protection chimique

La protection chimique est difficile du fait du nombre restreint de produits compatibles avec la résistance de cet insecte et avec la protection intégrée.

En raison du risque de transmission de TSWV, les traitements contre les thrips doivent débuter dès l'observation des premiers foyers.

*Thrips :
pas de lutte
biologique
à La Réunion*

La lutte biologique contre les thrips avec des acariens est possible mais elle n'a pas encore été expérimentée dans les conditions de La Réunion.

Pucerons

Ravageurs

Principalement *Myzus persicae*, *Aphis gossypii* et *Macrosiphum euphorbiae*

La lutte contre le puceron est le moyen le plus efficace pour limiter le développement des virus transmis (*Potato virus Y* ou PVY, *Cucumber mosaic virus* ou CMV).

Description

Petits insectes, de 1 à 5 mm (avec les ailes), vivant en colonies denses sur les plants en croissance. Une même colonie peut comporter des individus ailés ou sans ailes (aptères).

Leur couleur varie du jaune au vert jusqu'au brun foncé.

A la loupe, ils présentent deux pointes (cornicules) à l'extrémité de l'abdomen.

Aussi appelés communément « poux », les pucerons se nourrissent de la sève de la plante hôte. Les dégâts directs sont importants en cas de forte pullulation.

Symptômes

Dégâts directs. Affaiblissement de la plante, jaunissement et déformations (enroulement et crispation) des feuilles sous lesquelles se situent les colonies, avortement des boutons floraux.

Dégâts indirects. Présence de miellat (substance collante sécrétée par les pucerons) et de fumagine (champignons de couleur noire qui se développe sur le miellat) sur les feuilles et les fruits. Transmission de virus sur certaines plantes.

Reconnaissance sur le terrain

Regarder si les feuilles collent, rechercher la présence de colonies souvent repérées grâce aux exuvies de mues larvaires. Les pucerons sont localisés préférentiellement sur les jeunes pousses.



© Photos FDGDON





Conditions favorables

Les pucerons sont plus fréquents en demi-saison lorsque les températures sont moyennes et la pluviométrie faible. Sur les plantes développées, les colonies de *Macrosiphum euphorbiae* sont repérées à l'aide d'une loupe de terrain.

Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes cultivées : agrumes, mangue, melon, choux, fraisier, pomme de terre, poivron, maïs, etc.

Nombreuses plantes sauvages : pariétaire piquante *Amaranthus spinosus* L., pariétaire *Amaranthus viridis* L., lastron piquant *Sonchus asper* (L.) Hill, lastron tendre *Sonchus oleraceus* L., ravenelle *Raphanus raphanistrum* L., chardon *Argemone mexicana* L., morelle *Solanum nigrum* L., etc.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

Comme pour les aleurodes, les filets *insect-proof* sont recommandés du fait de la petite taille de l'insecte.

Le désherbage de la parcelle et de ses abords permet de lutter efficacement contre les pucerons. Eviter aussi les plantes sensibles à proximité (maïs par exemple).

Protection biologique

La protection biologique impose des mesures prophylactiques ainsi qu'un suivi régulier et rigoureux de la culture. Pour la mise en place de cette protection intégrée, il est nécessaire de contacter un technicien spécialisé.

L'utilisation de l'auxiliaire *Aphidius colemani* permet de réguler les populations.

Protection chimique

En raison du risque de transmission de viroses, les traitements localisés doivent débiter dès l'apparition des premières colonies dans la serre et faire appel à des produits compatibles avec la protection intégrée.

La protection chimique est difficile : cet insecte est résistant à plusieurs insecticides. Il faut donc alterner les familles chimiques et utiliser des produits respectueux de la faune auxiliaire.

Mouches mineuses

Ravageurs

Liriomyza huidobrensis, *L. trifolii*

Description

Petites mouches de 1,4 à 2,5 mm de couleur noire et jaune. *L. huidobrensis* a la plus grande taille. Elles présentent un point jaune (scutellum) bien visible sur le dos. La larve est un asticot beige vivant dans la feuille. La puppe brunâtre a la forme d'un tonnelet et se forme dans le sol ou sur le substrat.

Symptômes

Piqûres de nutrition et de ponte (points blancs sur le limbe) souvent localisées en bordure de folioles, galeries sinueuses (mines) dans les feuilles, baisse de la photosynthèse en cas de fortes attaques. Présence secondaire de pourriture grise (*Botrytis cinerea*).

Une attaque précoce faisant tomber les deux premières feuilles est très critique.

En général, les attaques se font sur les premières feuilles et sur jeunes plants.

Reconnaissance sur le terrain

Observer les galeries ou les points blancs en début d'attaques sur les feuilles. Pour identifier précisément l'espèce, il est utile d'adresser des spécimens à un taxonomiste spécialisé de ce genre.

Conditions favorables

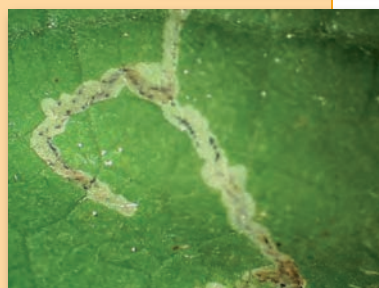
Cycle plus rapide sous climat chaud : 2 semaines à 25 °C, 4 semaines à 20 °C.



Larve. © Photos FDGDON



Puppe.



Galerie sur feuille.



Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes maraîchères : ail, laitue, chou pet-saï, aubergine, cucurbitacées, haricot, pomme de terre, etc.

Nombreuses plantes sauvages : pariétaire *Amaranthus viridis* L., morelle *Solanum nigrum* L., etc.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

Surveiller la culture et observer le vol des mineuses notamment à l'aide de panneaux jaunes englués.

Les filets *insect-proof* ne sont pas nécessaires, l'ombrière avec une maille moyenne empêche l'introduction des mouches mineuses.

Protection chimique

La protection chimique est assez difficile du fait de son efficacité limitée et de la résistance de ces insectes. Utiliser des produits aux propriétés translaminaires et compatibles avec la protection intégrée.



Bonne densité de panneaux jaunes chromo-attractifs. © FDGDON

Noctuelles défoliatrices

Ravageurs

Spodoptera littoralis, *Chrysodeixis chalcites*

Description

La chenille de *Spodoptera* est de couleur verdâtre puis brune, avec deux triangles noirs situés aux extrémités. Au dernier stade, elle s'enroule sur elle-même en cas de danger. Elle est active la nuit. Le jour, elle se cache sous les feuilles ou dans le sol.

La chenille de *Chrysodeixis* est verte et présente un trait jaune des deux côtés, le long du corps. Elle se déplace en arpentant. Elle est active le jour et la nuit.

Les adultes sont des papillons de 30-40 mm d'envergure et de couleur terne. Ils volent essentiellement la nuit.

Symptômes

Les attaques des jeunes chenilles provoquent des petites taches foliaires translucides puis brunes. Plus les chenilles se nourrissent, plus la défoliation est importante, pour ne laisser parfois que les nervures.

Reconnaissance sur le terrain

Rechercher des chenilles sous les feuilles ou dans le sol au niveau des rangs. Les chenilles sont facilement repérables par leurs déjections.

Conditions favorables

Période chaude.

© Photos FDGDON



Oufs de *Spodoptera*.



Chenille défoliatrice et dégâts sur feuille.



Dégâts sur feuille.



Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes maraîchères et adventices.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie (serres étanches).

Bien fermer les ouvrants avant la tombée de la nuit car les papillons sont nocturnes.

Les filets *insect-proof* ne sont pas indispensables, l'ombrière avec une maille moyenne empêche l'introduction des papillons.

Protection chimique ou biologique

L'efficacité de la lutte dépend de la rapidité avec laquelle les premiers symptômes sont observés.

En protection chimique, traiter uniquement dès les premiers dégâts visibles en respectant les délais avant récolte. Utiliser des produits respectueux de la faune auxiliaire et compatibles avec la protection intégrée.

Il existe des insecticides biologiques, notamment à base de *Bacillus thuringiensis*, à appliquer en dehors des périodes chaudes de la journée.



Noctuelles des fruits

Ravageur

Helicoverpa armigera (= *Heliothis armigera*)

Description

Papillon : 35-40 mm d'envergure, jaune à brun verdâtre.

Chenille âgée : 40 mm de longueur, vert brun, présentant des bandes longitudinales sombres et claires.

© FDGDON



Oufs sur feuilles.

Symptômes

Les jeunes chenilles dévorent les feuilles puis pénètrent dans les fruits verts ou mûrs (parfois dans les tiges) pour s'y nourrir, induisant leur chute prématurée. Le bouquet ou la partie supérieure du plant peut être entièrement détruit.

Les pertes peuvent être aggravées par des pourritures secondaires.

Reconnaissance sur le terrain

Rechercher des chenilles et des fruits attaqués.

Condition favorable

Température élevée.

Principales plantes sensibles

Plantes maraîchères (principalement tomate), maïs, oëillet.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie (serres étanches).

Les filets *insect-proof* ne sont pas indispensables, l'ombrière avec une maille moyenne empêche l'introduction des papillons.



Protection chimique ou biologique

L'efficacité de la lutte dépend de la rapidité avec laquelle les premiers symptômes sont observés. La lutte est très difficile une fois les chenilles à l'intérieur des fruits.

Traiter uniquement dès les premiers dégâts visibles en respectant les délais avant récolte.

Utiliser des produits respectueux de la faune auxiliaires et compatibles avec la protection intégrée.

Les insecticides biologiques, notamment à base de *Bacillus thuringiensis*, sont efficaces uniquement sur les premiers stades. Ils doivent être appliqués en dehors des périodes chaudes de la journée.

*Autre ravageur
des fruits : une
mouche qui n'aime pas
les serres*

Les attaques de la mouche des fruits de la tomate (*Neoceratitis cyanescens*) sont très importantes à La Réunion sur tomate de plein champ, mais quasi inexistantes dans les serres ouvertes. Ce phénomène n'a pas encore été élucidé.

Acariens tétranygues ou araignées rouges

Ravageurs

Tetranychus evansi, *T. amicus*

Description

Ce sont des piqueurs videurs de cellules végétales.

Petites « araignées » rouges ou jaunes de 0,3 à 0,5 mm de longueur. Visibles surtout à la face inférieure des feuilles. Fines toiles autour des feuilles en cas de forte attaque.

Symptômes

Plages décolorées sur la face supérieure des folioles dues aux piqûres des acarins. En cas de forte attaque, on peut observer jusqu'à un dessèchement de la plante entière avec des toiles très fines sur l'ensemble des organes touchés.

Reconnaissance sur le terrain

Le ravageur étant de petite taille, une loupe est utile pour l'observer.

Présence des ravageurs et des dégâts au niveau de tous les organes attaqués.

Conditions favorables

Plants au stade jeune, présence de jeunes feuilles. Temps chaud (température supérieure à 22 °C) et sec (humidité inférieure à 50 %).

© Photos FDGDON



Acarien tétranygue.



Dégâts sur fruit.



Forte attaque de tétranygue.



Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes maraîchères et adventices.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

Protection biologique avec l'acarien auxiliaire

Phytoseiulus persimilis

La protection biologique avec l'acarien prédateur auxiliaire *Phytoseiulus persimilis* impose des mesures prophylactiques ainsi qu'un suivi régulier et rigoureux de la culture. L'utilisation d'auxiliaires permet de réguler les populations. Pour la mise en place de cette protection intégrée, contacter un technicien spécialisé.

Protection chimique

Privilégier des spécialités commerciales respectant les auxiliaires, dont les acariens utiles, et compatibles avec la protection intégrée.

Traiter uniquement à l'observation des premiers foyers ou symptômes.

Acariose bronzée

Ravageur

Aculops lycopersici

Description

Petits acariens de 0,15 à 0,18 mm de longueur, invisibles à l'œil nu. Ils se distinguent des acarions tétranyques par la présence de deux paires de pattes, leur forme en virgule et leurs déplacements très lents. Couleur jaune pâle à orange.

Symptômes

Les organes atteints prennent une coloration bronzée très caractéristique. Les dégâts se développent vers le bas de la plante. Les symptômes sont visibles sur tiges, pétioles, feuilles et fruits : jaunissement et dessèchement des feuilles, réduction de la taille des fruits avec présence de cicatrices liégeuses et de craquelures en cas de forte attaque.

Reconnaissance sur le terrain

Le ravageur étant de petite taille, une loupe est indispensable pour l'observer.

Conditions favorables

Températures élevées (> 22 °C) et une humidité relative basse (< 50 %). La durée du cycle est d'environ 7 jours à 22 °C.

Plantes sensibles

Tomate et pomme de terre.

© Photos FDGDON



Dégâts sur feuilles.



Forte attaque d'acariose bronzée.



Confusions possibles

Les dégâts rappellent ceux causés par les tarsonèmes (cicatrices sur fruits et, en début d'attaques, brillance sur feuilles).

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

Protection chimique

Traiter en localisé dès l'observation des premiers foyers, sinon un traitement généralisé est nécessaire.

Utiliser des produits compatibles avec la protection intégrée et respectueux de la faune auxiliaire.



Tarsonèmes ou acariose déformante

Ravageur

Polyphagotarsonemus latus

Description

Petits acariens invisibles à l'œil nu de forme ovoïde et de couleur blanche à jaune pâle. Les adultes ont quatre paires de pattes. La quatrième paire est réduite pour les femelles et, chez les mâles, elle sert à porter les larves femelles. Les œufs de forme ovale sont opaques et recouverts de taches blanches. Cet acarien est très mobile sur les feuilles.

Symptômes

Seules les nouvelles feuilles sont attaquées. Les feuilles attaquées sont de taille réduite et plus ou moins déformées ; elles deviennent filiformes. La croissance des plantes et des rameaux est bloquée. Des traces liégeuses apparaissent sur les fruits en cas de fortes attaques.

Reconnaissance sur le terrain

Le ravageur étant de petite taille, faire les observations avec une loupe.

Conditions favorables

Périodes chaudes et humides.

Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes sauvages ou cultivées (poivron, piment, papayer, aubergine, haricot, tomate, plus rarement cucurbitacées, etc.).

© FDGDON



Dégâts sur fruits.



Confusions possibles

En début d'attaques, les dégâts rappellent ceux causés par l'acariose bronzée et par les thrips lorsqu'ils sont localisés sous les feuilles.

Par la suite, les dégâts rappellent les symptômes causés par le *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLC), sans le jaunissement. Quand les tarsonèmes sont en cause, les dégâts n'apparaissent plus sur les nouvelles feuilles après un traitement avec un acaricide approprié.

Sur fruits, les cicatrices ressemblent à celles provoquées par l'acariose bronzée.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

Protection chimique

Traiter en localisé dès l'observation des premiers foyers. Si ce traitement n'est pas fait, un traitement généralisé sera nécessaire.

Utiliser des produits compatibles avec la protection intégrée et respectueux de la faune auxiliaire.

Pourriture grise

Champignon

Botrytis cinerea

Symptômes

Taches nécrotiques en flamme de couleur gris beige sur feuilles. Chancre de couleur gris beige sur tige et collet. Pourriture molle au collet et au niveau de l'attache des fruits. Anneaux translucides à blancs entourant de minuscules taches fugaces dites en œil d'oiseau sur fruits (symptômes des taches fantômes).

Moisissure grise abondante sur tous les organes atteints.

Reconnaissance sur le terrain

Attention aux confusions possibles car les taches sans fructifications peuvent se confondre avec les dégâts d'autres maladies fongiques (alternariose, mildiou).

Les chancres sur tige et collet peuvent aussi se confondre avec d'autres maladies fongiques (*Fusarium solani*, *Didymella*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora*).

Conditions favorables

Températures comprises entre 15 et 20 °C, amplitudes thermiques jour-nuit élevées.

Forte humidité, plantes mouillées le matin.

Eclairement insuffisant.

Manque d'aération.

Erreur de fertilisation (excès d'azote).

Blessures et plaies de taille.

© Photos FDGDON



Pourriture grise sur feuille.



Pourriture grise sur tige.



Risques de contamination

Présence de déchets de culture contaminés.

Zones à courants d'air (entrées, ouvrants, demi-lunes ouvertes).

Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes cultivées et sauvages.

Premiers conseils

Réduire l'humidité ambiante dans la culture par différents moyens : ventilation de la serre, paillage plastique, effeuillage, diminution de la densité de plantation...

Au moment de la taille, pratiquer des sections nettes au ras de la tige afin d'obtenir des plaies moins sensibles aux attaques.

Pratiquer la taille très tôt le matin.

Manipuler avec soin les plants et traiter préventivement lors des opérations de taille.

Eviter de produire des plantes trop vigoureuses et éviter une fertilisation azotée excessive.

En pépinière, éviter les blessures, les semis trop denses, les fortes humidités. Utiliser un substrat sain.

Protection chimique

En complément de la prophylaxie, il est nécessaire de faire appel aux traitements phytosanitaires en alternant les familles chimiques de produits pour éviter des phénomènes de résistance et en respectant les délais d'emploi avant récolte.



© Photos FDGDON

Pourriture grise sur fruit.



Taches fantômes de Botrytis sur fruits.

Oïdium

Champignon

Leveillula taurica

Symptômes

Taches jaunâtres à brun clair puis nécrotiques sur feuilles, avec présence d'un feutrage blanc à la face inférieure. Dessèchement des feuilles en cas de forte attaque. Odeur caractéristique de champignon.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Conditions favorables

Températures peu élevées (20 à 25 °C), humidité faible (50 à 70 %), zones à courant d'air (entrées, ouvrants).

Risques de contamination

Présence de cultures environnantes contaminées.

Zones à courant d'air (entrées, ouvrants, demi-lunes ouvertes).

Principales plantes sensibles

Aubergine, tomate, poivron, artichaut, papayer, piment, concombre, etc.

Confusions possibles

La présence d'un duvet blanc peut rappeler un début d'attaque de mildiou.

Protection chimique

Traiter dès l'observation des premiers symptômes.

Sur maladie déclarée, traitement phytosanitaire avec des produits à action éradicante : deux traitements à 5 jours d'intervalle permettent de bloquer la maladie.

© Photos FDGDON



Oïdium sur la face inférieure de la feuille.



Oïdium sur la face supérieure de la feuille.



Mildiou

Champignon

Phytophthora infestans

Symptômes

Taches « huileuses » puis jaunes sur les feuilles se nécrosant rapidement. Dessèchement et destruction du feuillage rapide. Duvet blanc à la face inférieure.

Taches brunes sur tiges. Taches brunes, marbrées, sur fruits verts donnant un aspect bosselé (peau de crapaud).

La maladie se déclare généralement en foyer dans les zones humides (sous les ouvrants).

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Confusions possibles

La présence d'un duvet blanc peut rappeler un début d'attaque d'oïdium.

Les taches sans fructifications peuvent se confondre avec d'autres dégâts de maladies (alternariose, pourriture grise).

Conditions favorables

Forte humidité, température de 10 à 25 °C (nuits froides et journées modérément chaudes accompagnées d'une forte humidité).

Risques de contamination

Zones à courant d'air (entrées, ouvrants, demi-lunes ouvertes).

© FDGDON



Mildiou : tache brune marbrée sur fruit vert.



Principales plantes sensibles

Tomate, aubergine, pomme de terre.

Premiers conseils

Réduire l'humidité ambiante dans la culture (ventilation de la serre, diminution de la densité de plantation, pas d'eau libres sur les feuilles...).

Éviter une fertilisation azotée excessive.

Protection chimique

L'application de toutes mesures préventives limite l'installation de cette maladie.

Sur maladie déclarée, des interventions chimiques avec des produits pénétrants doivent être réalisées.



Cladosporiose

Champignon

Fulvia fulva (forme asexuée :
Cladosporium fulvum)

Symptômes

Attaques souvent à la base des plantes. Taches foliaires jaune clair sur feuilles avec, à la face inférieure, un duvet blanchâtre puis brunâtres plus ou moins violacé avec une marge chlorotique blanchâtre assez large. Les feuilles malades se dessèchent et tombent.



Taches de cladosporiose. © Picasa Albums

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Confusions possibles

Les taches jaunâtres et le duvet blanchâtre rappellent les attaques d'oïdium.

Conditions favorables

Températures élevées le jour, fraîches la nuit, forte humidité (> 80 %), aération insuffisante.

Risques de contamination

Présence de déchets de culture contaminés, structures des abris non désinfectées.
Zones d'entrées, ouvrants, demi-lunes ouvertes.

Principales plantes sensibles

Tomate.

Premiers conseils

Réduire l'humidité ambiante dans la culture : ventilation de la serre, diminution de la densité de plantation, pas d'eau libre sur les feuilles, effeuillage des feuilles de la base.

Ne pas produire des plantes trop vigoureuses et éviter une fertilisation azotée excessive.

Protection chimique

L'application de toutes mesures préventives (prophylaxie et lutte chimique) limite l'installation de cette maladie.



Cladosporiose sur la face inférieure. © FDGDON



Dépérissement dû à *Pythium*

Champignon

Pythium sp.

Symptômes

Jaunissement des feuilles, pourriture du collet, nécroses des racines, dépérissement progressif de la culture.



Pourriture du collet.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations faites à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Confusions possibles

Les symptômes de flétrissement rappellent ceux d'autres maladies (*Fusarium oxysporum*, *Didymella*, *Rhizoctonia*, *Botrytis*) ou ceux d'une asphyxie.

Conditions favorables

Excès d'eau ou maintien d'une forte humidité au niveau du substrat.

Excès de salinité.

Température du substrat trop basse.

Risques de contamination

Sol contaminé (c'est la forme de conservation) : dissémination par éclaboussures de terre, ruissellement d'eau.

Eau d'irrigation contaminée (réserves d'eau ouvertes), ruissellement d'eau contaminée.

Matériel de base contaminé (substrat, plants).



Présence de déchets de cultures malades.

Outils et matériel non désinfectés.

Absence de protection à l'entrée des abris (pédiluve ou chaussures spécifiques).

Absence de vide phytosanitaire et de désinfection des structures.

Présence de plaies ou de blessures liées aux opérations culturales.

Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes cultivées et sauvages.

Protection chimique

L'application de toutes les mesures préventives (prophylaxie et lutte chimique) limite l'installation de cette maladie.



Fusariose des racines et du collet

Champignon

Fusarium oxysporum f. sp. *radicis lycopersici* (FORL)

Symptômes

Plages brunâtres au niveau des feuilles et flétrissement du feuillage. Chancre brun sur tige et collet avec brunissement des vaisseaux. Nécroses des racines, système racinaire réduit. Flétrissement de la culture.

Au stade avancé de la maladie, présence de mucus couleur saumon sur les chancres.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Confusions possibles

Les symptômes de flétrissement rappellent ceux d'autres maladies (*Phytophthora*, *Didymella*, *Rhizoctonia*, *Botrytis*, *Ralstonia*) ou ceux d'une asphyxie.

Conditions favorables

Temps humide.

Persistance de l'humidité dans le substrat.

Microclimat chaud et humide sous la plante.

Risques de contamination

Sol contaminé (c'est la forme de conservation) : dissémination par éclaboussures de terre, ruissellement d'eau.



Fusariose : brunissement des vaisseaux.

© FDGDON

Eau d'irrigation contaminée (réserves d'eau ouvertes).

Matériel de base contaminé (substrat, plants).

Présence de déchets de cultures malades.

Outils et matériel non désinfectés.

Absence de protection à l'entrée des abris (pédiluve ou chaussures spécifiques).

Absence de vide phytosanitaire et de désinfection des structures.

Présence de plaies ou de blessures liées aux opérations culturales.

Principales plantes sensibles

Tomate, aubergine, poivron, etc.

Premiers conseils

Utiliser des variétés résistantes.

Protection chimique

L'application de toutes les mesures préventives (prophylaxie et lutte chimique) limite l'installation de cette maladie.

© FDGIDON



Fusariose : chancre brun sur collet.



Chancre à *Didymella*

Champignon

Didymella lycopersici

Symptômes

Chancre brun sur tige et collet avec brunissement des vaisseaux.

Flétrissement de la culture.

Au stade avancé de la maladie, présence de fructifications (ponctuations noires) sur les chancres.

Symptômes rares sur feuilles et fruits, sous la forme de taches concentriques avec des ponctuations noires.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations faites à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Confusions possibles

Les symptômes de flétrissement rappellent ceux d'autres maladies (*Phytophthora*, fusarioses, *Rhizoctonia*, *Botrytis*, etc.) ou une asphyxie.

Conditions favorables

Températures 15 à 28 °C, conditions humides, persistance de l'humidité dans le substrat.

Risques de contamination

Sol contaminé (c'est la forme de conservation) : dissémination par éclaboussures de terre, ruissellement d'eau.



Chancre à *Didymella*.

© Photos FDGDON

Eau d'irrigation contaminée (réserves d'eau ouvertes).

Matériel de base contaminé (substrat, plants).

Présence de déchets de cultures malades.

Outils et matériel non désinfectés.

Absence de protection à l'entrée des abris (pédiluve ou chaussures spécifiques).

Absence de vide phytosanitaire et de désinfection des structures.

Présence de plaies ou de blessures liées aux opérations culturales (ébourgeonnage, effeuillage).



Chancres à *Didymella*.

Principales plantes sensibles

Tomate, aubergine, poivron, etc.

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

Protection chimique

L'application de toutes les mesures préventives (prophylaxie et lutte chimique) limite l'installation de cette maladie.



Flétrissement bactérien

Bactérie

Ralstonia solanacearum

Symptômes

Flétrissement des feuilles de l'apex se généralisant à toute la plante. Attention : le flétrissement de l'apex peut aussi être causé par un manque d'eau aux heures les plus chaudes de la journée mais, dans ce cas, le symptôme est réversible.

Brunissement des vaisseaux et pourriture des racines.

La section de la tige trempée dans un verre d'eau laisse apparaître un exsudat à la base (filet blanchâtre).

Reconnaissance sur le terrain

Les observations faites à partir des symptômes sur le terrain sont à confirmer par des analyses de laboratoire.

Conditions favorables

Température optimale de 30 à 35 °C et forte humidité.

Risques de contamination

Sol ou substrat contaminé, eau d'irrigation contaminée.

Plants contaminés en pépinière.

Plaques de semis trop basses ou cultures proches du sol et du ruissellement de l'eau ou des éclaboussures.

Tables de semis contaminées et non désinfectées.



© FDGDON

Flétrissement bactérien.

Utilisation de matériel non désinfecté.

Nettoyage des outils et matériel avec de l'eau contaminée (tables de semis, etc.).

Principales plantes sensibles

Aubergine, tomate, poivron, autres solanacées cultivées et sauvages et nombreuses autres espèces...

Premiers conseils

Respecter la prophylaxie.

En cas de contamination des cultures, utiliser des substrats neufs pour le prochain cycle.

Éviter une fertilisation azotée excessive.

Désinfecter l'eau avec un système à rayonnement ultraviolet.



Flétrissement bactérien.

Protection chimique

La protection contre le flétrissement bactérien est fondée sur des méthodes culturales, la prévention et la connaissance de l'historique des serres. En cas de maladie déclarée, il est difficile d'intervenir.

L'application de toutes mesures préventives (prophylaxie et lutte chimique) limite l'installation de cette maladie.

Aucun produit n'est utilisable. L'élimination des plants malades et des plants proches permet de limiter la propagation de la maladie.

Pour des cultures conservées longtemps, il est possible d'utiliser des porte-greffes résistants ou des variétés tolérantes.



Maladie bronzée de la tomate

Virus

Tomato spotted wilt virus (TSWV)

Transmission

Selon le mode persistant, par certaines espèces de thrips (acquisition du virus au stade larvaire), *Frankliniella occidentalis* est plus actif que *Thrips tabaci*.

Par blessures : opérations culturales avec des matériels non désinfectés, frottements, etc.

Symptômes

Taches nécrotiques sur feuilles donnant un aspect général bronzé. Enroulement vers le bas. Zones circulaires décolorées sur fruits. Ralentissement de la croissance.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées sur le terrain doivent être confirmées par un test sérologique au laboratoire.

Conditions favorables

Se référer aux conditions favorables à l'installation des thrips : sécheresse et chaleur.

Principales plantes sensibles

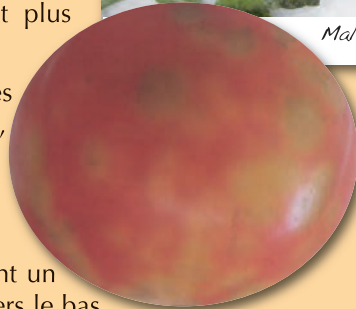
Nombreuses cultures légumières, florales et ornementales.

Premiers conseils

Appliquer les mesures prophylactiques contre les thrips.



© Photos FDGDON





Utiliser un matériel végétal de base sain.

Dès l'observation des premiers symptômes, éliminer toutes les plantes atteintes et les déchets végétaux.

Protection

Aucune protection chimique directe.

La virose étant transmise par les thrips, il faut lutter contre ces insectes vecteurs dès les observations des premiers individus. Cependant, les traitements insecticides sont très peu efficaces pour limiter le développement des épidémies de virus transmis par insectes vecteurs.



Virus Y de la pomme de terre

Virus

Potato virus Y (PVY)

Transmission

Par les pucerons selon le mode persistant.

Par blessures : opérations culturales avec des matériels non désinfectés, frottements, etc.



© FDGDON

PVY sur feuilles.

Symptômes

Nécroses brunes formant des plages sur les feuilles. Taches nécrotiques sur fruits.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain doivent être confirmées par des tests sérologiques au laboratoire.

Conditions favorables

Se référer aux conditions favorables à l'installation des pucerons : en demi-saison lorsque les températures sont moyennes et la pluviométrie faible.

Principales plantes sensibles

Tomate, pomme de terre, piment, poivron, tabac.

Premiers conseils

Appliquer les mesures prophylactiques contre les pucerons.

Utiliser un matériel végétal de base sain.

Dès observation des premiers symptômes, éliminer toutes les plantes atteintes et les déchets végétaux.

Protection

Aucune lutte chimique directe.

La virose étant transmise par les pucerons, il faut lutter contre ces insectes vecteurs dès observations des premiers individus. Cependant, les traitements insecticides sont peu efficaces pour limiter le développement des épidémies de virus transmis par insectes vecteurs.



© FDGDON

PVY sur feuilles.



Maladie des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV)

Virus

Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)

Transmission

Par l'aleurode *Bemisia tabaci* selon le mode persistant.

Par greffage lors de l'utilisation d'un porte-greffe virosé.



© FDGDON

Dégâts du TYLC.

Symptômes

Forte diminution de la croissance. Aspect rabougri et buissonnant des plants. Folioles jaunies, nanifiées, avec mosaïque, et recourbées vers le haut.

Production réduite et de petit calibre.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain doivent être confirmées par des analyses sérologiques et moléculaires au laboratoire.

Conditions favorables

Se référer aux conditions favorables à l'installation des aleurodes : *B. tabaci* aime les températures chaudes et les zones de basse altitude.

Principales plantes sensibles

Nombreuses plantes cultivées (tomate, piment, haricot, etc.) et diverses autres plantes sauvages ou adventices pouvant abriter le virus.

Premiers conseils

Appliquer les mesures prophylactiques contre les aleurodes.



Utiliser un matériel végétal de base sain et une variété tolérante par rapport au virus. Être vigilant avec les plants produits en basse altitude.

Dès observation des premiers symptômes, éliminer toutes les plantes atteintes et les déchets végétaux.

Protection

Aucune lutte chimique directe.

La virose étant transmise par les aleurodes, il faut lutter contre ces insectes vecteurs dès les observations des premiers individus. Cependant, les traitements insecticides sont très peu efficaces pour limiter le développement des épidémies de virus transmis par insectes vecteurs.

Il existe des variétés tolérantes mais elles sont mal adaptées aux conditions locales de La Réunion.



Virus de la chlorose de la tomate

Virus

Tomato chlorosis virus (ToCV)

Transmission

Par les aleurodes *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum* selon un mode semi-persistant.



© FDGDON

Chlorose sur feuille.

Symptômes

Jaunissement entre les nervures sans réduction de la taille des folioles, taches jaunes en forme de flamme. Affaiblissement de la plante.

Pas de dégâts sur fruits mais réduction du calibre et du rendement.

Reconnaissance sur le terrain

Les observations réalisées à partir des symptômes sur le terrain doivent être confirmées par des analyses de laboratoire.

Confusions possibles

Confusion possible avec une carence magnésienne ou un désordre physiologique.

Conditions favorables

Se référer aux conditions favorables à l'installation des aleurodes : *T. vaporariorum* se rencontre dans toutes les zones de l'île. *B. tabaci* préfère les températures chaudes et les zones de basse altitude.

Principales plantes sensibles

Tomate.

Premiers conseils

Appliquer les mesures prophylactiques contre les aleurodes.

Utiliser un matériel végétal de base sain.

Éliminer toutes les plantes présentant les symptômes de présence du virus, de taches nécrotiques, et les déchets végétaux.

Protection

Aucune lutte chimique directe.

La virose étant transmise par les aleurodes, il faut lutter contre ces insectes vecteurs dès observations des premiers individus. Cependant, les traitements insecticides sont très peu efficaces pour limiter le développement des épidémies de virus transmis par insectes vecteurs.

Utiliser des plants de tomate sains produits par des pépinières agréées.



Jaunissement entre les nervures.



La chlorose peut être confondue avec ces symptômes de carence en magnésium.



Glossaire

Ce glossaire comprend pour l'essentiel des termes liés à la protection des végétaux.

Adventice

Botanique. Espèce végétale étrangère à la flore indigène d'un territoire dans lequel elle est accidentellement introduite et peut s'installer.

Agronomie. Ce terme désigne une plante introduite accidentellement dans les terrains modifiés par l'homme, il est aussi utilisé comme synonyme de « mauvaise herbe ».

Analyse de risque

Renvoi à l'évaluation scientifique de la vraisemblance et des conséquences (les risques) de l'introduction et de l'établissement d'une espèce exotique envahissante ainsi que des mesures qui peuvent être arrêtées et mises en œuvre afin d'atténuer ou gérer ces risques.

Auxiliaire de lutte biologique

Prédateur ou parasite qui, par son mode de vie, apporte son concours à la destruction de ravageurs nuisibles aux cultures.

Bactérie

Microorganisme unicellulaire, non chlorophyllien, se multipliant par division cellulaire.

Bonnes pratiques agricoles (BPA)

Ensemble de règles d'implantation et de conduite des cultures de façon à optimiser la production agricole, tout en réduisant le plus possible les risques liés à ces pratiques, aussi bien vis-à-vis de l'homme que de l'environnement. En matière de protection des plantes, on peut également les nommer bonnes pratiques phytopharmaceutiques ou phytosanitaires.

Bonnes pratiques phytosanitaires (BPP)

Ensemble de règles permettant d'assurer l'efficacité optimale des préparations phytopharmaceutiques ou des autres techniques de protection des plantes, tout en réduisant le plus possible les risques liés à leur emploi. Elles impliquent, entre autres, de respecter la dose d'emploi, le nombre d'applications, le délai d'emploi avant récolte.

Bouillie

Mélange, généralement dans l'eau, d'une préparation phytopharmaceutique destinée à être appliquée par pulvérisation, arrosage ou trempage.

Une bouillie peut contenir plusieurs préparations et des adjuvants.



Champ d'activité (d'un produit phytopharmaceutique)

Ensemble de ravageurs, des agents pathogènes ou des « mauvaises herbes » maîtrisés par un produit phytopharmaceutique. Ce terme doit être préféré à « spectre d'efficacité ».

Champignon

Organisme biologique sans chlorophylle, à la croissance rapide dans les lieux humides et dont la reproduction s'effectue généralement par des spores.

Chancre

Zone malade de la plante, nécrotique et localisée.

Concentration d'emploi

Quantité (masse ou volume) de préparation (ou de substance active) contenue dans l'unité de volume de bouillie à épandre.

Pour éviter toute ambiguïté, on exprime généralement en kilogrammes ou en litres une quantité de préparation, et en grammes la quantité correspondante de substance active.

Culture mineure

Culture de faible importance économique.

Curatif

En phytopathologie, qualifie une substance ou une préparation capable d'arrêter une infection dont la phase parasitaire a été amorcée.

Par extension, certaines substances préventives d'arrêt sont assimilées à des substances curatives.

Délai d'emploi avant récolte (DAR)

Délai minimal autorisé entre le dernier traitement et la récolte d'une culture.

Dose d'emploi

Quantité (masse ou volume) de préparation (ou de substance active) appliquée par unité de matériel traité. Cette unité est généralement une surface (hectare ou mètre carré), mais peut être aussi un volume (litre, hectolitre, mètre cube...), ou une masse (kilogramme, quintal, tonne).

Pour éviter toute ambiguïté, on exprime généralement en kilogrammes ou en litres une quantité de préparation, et en grammes la quantité correspondante de substance active.



Dose journalière admissible (DJA)

Quantité de substance qu'un être humain peut absorber quotidiennement sa vie durant, sans effet néfaste pour sa santé. Elle est exprimée en milligrammes par kilogramme de poids corporel et par jour.

La DJA est calculée à partir de la dose sans effet (DSE) la plus basse observée chez des mammifères de laboratoire, à laquelle sont appliqués des coefficients de sécurité, dont la valeur finale, variable en fonction du risque encouru, n'est jamais inférieure à 100. L'Apport journalier admissible (AJA) correspond au même concept lorsqu'on l'exprime en milligramme de substance par individu et par jour.

Dose létale (DL)

Quantité de substance qui, administrée à des animaux de laboratoire, entraîne la mort. Elle est généralement exprimée en milligramme par kilogramme de poids corporel et par jour.

Exemple : DL 50, dose entraînant 50 % de mortalité.

Dose sans effet (DSE)

Quantité maximale de substance dont l'absorption quotidienne ne se traduit pas par des effets toxiques sur des animaux de laboratoire. Elle est généralement exprimée en milligramme par kilogramme de poids corporel et par jour. On distingue différentes expressions de cette dose sans effet :

- DSEO, dose sans effet observé ;
- DSENO, dose sans effet néfaste observé.

Effet non intentionnel

On appelle effet non intentionnel d'un produit phytopharmaceutique utilisé dans des conditions normales, toute action bien caractérisée, autre que celle pour laquelle le produit est employé, qu'elle soit bénéfique ou non, immédiate ou à retardement.

Cette locution doit être préférée à « action secondaire ». Synonyme : effet secondaire.

Entomopathogène

Microorganisme susceptible de causer des maladies aux insectes.

Fongicide

Substance active ou préparation qui inhibe le développement d'un champignon sans le détruire.

Gamme de plantes hôtes

Espèces végétales susceptibles d'assurer, dans des conditions naturelles, la survie d'un organisme nuisible déterminé ou d'un autre organisme.



Herbicide

Substance active ou préparation ayant la propriété de tuer les végétaux. On distingue :

- selon le mode d'absorption :
 - herbicide foliaire : herbicide pulvérisé sur les feuilles et absorbé par celles-ci ;
 - herbicide racinaire : herbicide appliqué sur le sol et absorbé par les racines.
- selon le site et le mode d'action :
 - herbicide de contact : herbicide de post-levée très peu mobile dans la plante et qui n'entraîne de dommages des tissus qu'autour des points d'impact et de pénétration ;
 - herbicide systémique : herbicide de prélevée ou de post-levée qui migre dans la plante par le bois ou le liber, depuis les points de pénétration (racine ou feuille) jusqu'au site d'action. Cette locution est souvent utilisée dans un sens restrictif pour désigner les herbicides de post-levée véhiculés dans la plante.
- selon le champ d'activité
 - herbicide sélectif : herbicide que peut tolérer une espèce cultivée dans des conditions d'emploi définies. Si ces conditions d'emploi ne sont pas respectées, il peut devenir non sélectif. Un herbicide sélectif n'est généralement efficace que sur certaines mauvaises herbes ;
 - herbicide total : herbicide efficace sur l'ensemble des mauvaises herbes et aussi des espèces cultivées ;
 - herbicide persistant : cette locution doit être préférée à « herbicide rémanent » ou « herbicide résiduaire ».

Homologation

Procédure d'autorisation de mise sur le marché (AMM). L'homologation est délivrée pour une durée maximale de dix ans, renouvelable. Dans certains cas, elle peut être accordée à titre provisoire pour une durée maximale de quatre ans, renouvelable (autorisation provisoire de vente ou APV).

Insecticide

Substance active ou préparation phytopharmaceutique ayant la propriété de tuer les insectes.

Larvicide

Substance active ou une préparation ayant la propriété de tuer les larves.

En protection des cultures contre les parasites, la connaissance des caractéristiques larvicides des produits phytopharmaceutiques appliqués ainsi que la date de début d'apparition des larves, permettent de raisonner l'emploi des insecticides et des acaricides.

LMR ou TMR

La limite maximale de résidus (LMR) ou teneur maximale en résidus (TMR) est la concentration maximale du résidu autorisé dans ou sur des denrées alimentaires ou des aliments pour animaux.



Lutte biologique

Méthode qui consiste à combattre un organisme nuisible par l'utilisation de mécanismes naturels appartenant soit au règne animal soit au règne végétal, ou qui en dérivent.

Lutte chimique

Méthode qui consiste à utiliser des produits phytopharmaceutiques de nature chimique pour combattre les organismes nuisibles.

Lutte intégrée (ou « protection intégrée »)

Application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, chimiques, physiques, culturales y compris l'amélioration des végétaux. L'emploi de préparations phytopharmaceutiques y est limité au strict nécessaire pour maintenir les populations d'organismes nuisibles au-dessous du seuil à partir duquel apparaissent une perte ou des dommages économiquement inacceptables.

Lutte raisonnée

Emploi rationnel de préparations phytopharmaceutiques, se définissant notamment par le choix des produits, de leur dose, de l'époque d'application et des techniques à mettre en œuvre au sein d'un programme tenant compte de l'évolution des organismes nuisibles.

Maladies non parasitaires (physiologiques ou abiotiques)

Elles désignent les perturbations du métabolisme, les retards de croissance ou les anomalies du développement résultant de causes altérogènes abiotiques, non transmissibles d'une plante à l'autre (maladies non contagieuses). Les principaux types de stress auxquels les organismes végétaux peuvent être soumis sont les facteurs physiques (températures, lumière...), les facteurs édaphiques (pH, structure, salinité...), les facteurs chimiques d'origine anthropique (polluants) et les facteurs humains (vandalisme, taille...).

Mode persistant ou transmission circulaire

La relation entre le virus et le vecteur est caractérisée par une longue période d'acquisition du virus par le vecteur, une période de latence avant que le vecteur puisse transmettre le virus à une plante saine et le maintien du virus dans le corps du vecteur pendant une longue période.

Mode non persistant

Le virus ne survit pas au niveau du vecteur et la transmission se fait uniquement si la piqure d'une plante saine suit rapidement celle d'une plante malade. Le mode semi-persistant est une situation mixte entre les deux modes persistant et non persistant.



Parasite

Organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un organisme appelé hôte, pendant tout ou partie de son cycle vital en lui portant préjudice sans entraîner obligatoirement sa mort. On distingue l'endoparasite qui se développe à l'intérieur de l'hôte et l'ectoparasite qui évolue à l'extérieur de l'hôte.

Parasitoïde

Organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un hôte dont il entraîne obligatoirement la mort. On distingue l'endoparasitoïde et l'ectoparasitoïde.

Petit hyménoptère (guêpe) ou diptère (mouche) dont les larves se développent aux dépens d'un seul individu ravageur (hôte) en entraînant sa mort. Ils sont en général monophages, parfois oligophages ou oophages ; ils sont toujours plus petits que leur hôte.

Pathogène

Microorganisme qui provoque une maladie.

Persistance d'action (ou rémanence)

Durée pendant laquelle un produit phytosanitaire reste efficace sur l'objet traité. Cette persistance peut être le fait de la substance active, de ses produits de dégradation ou de sa formulation.

Phytopathologie (ou phytiairie)

C'est la science qui traite des maladies des plantes. Les études phytopathologiques reposent sur la mise en œuvre de notions de botanique, de microbiologie, de biologie moléculaire, de génétique, de biochimie, de physiologie végétale, d'écologie, de phylotechnie, de toxicologie, d'épidémiologie, d'économie.

Phytotoxicité

Propriété d'une substance ou d'une préparation qui provoque chez une plante des altérations passagères ou durables.

Effet toxique d'une substance sur des végétaux.

Plant

On appelle ainsi un jeune végétal herbacé ou ligneux, ou un organe humide de reproduction (tubercules, bulbes, rhizomes), destiné à être mis en place pour une culture ou un usage déterminé. Le plant provient soit d'un semis (plant de tomate), soit d'un procédé de multiplication végétative (plant de vigne, plant d'ail).



Post-levée

Epoque située après la levée de la plante cultivée ou de la mauvaise herbe.

Ce terme doit être préféré à « post-émergence ».

Prélevée

Epoque située avant la levée de la plante cultivée ou de la mauvaise herbe.

Ce terme doit être préféré à « pré-émergence ».

Préventif

Qualifie une substance ou une préparation capable d'agir en empêchant l'installation d'un agent pathogène dans les tissus de l'hôte.

Selon le mode d'action, on distingue deux types de substances préventives :

- les substances « préventives strictes », qui empêchent la contamination c'est-à-dire la pénétration du parasite à l'intérieur de l'hôte ;
- les substances « préventives d'arrêt », capables d'arrêter l'infection au début de la phase de contamination, lorsque le parasite n'a pas encore amorcé sa phase parasitaire.

Produit biocide

Substance ou préparation destinée à combattre les organismes nuisibles par une action chimique ou biologique.

En pratique, cette locution désigne les produits qui ne sont ni des médicaments destinés à l'homme ou aux animaux, ni des cosmétiques, ni des produits phytopharmaceutiques. Exemple : produits de traitement des locaux d'élevage, insecticides ménagers...

Produit biologique

Ce terme doit être préféré à « biopesticide ».

Organisme, substance ou préparation permettant de lutter contre des organismes nuisibles et dont le principe actif est constitué par des organismes vivants (par exemple : spores de champignons comme *Verticillium lecanii* contre les aleurodes *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*, *Paecilomyces fumosoroseus* contre les aleurodes *Trialeurodes vaporariorum*, et *Beauveria tenella* 96 contre les vers blancs de la canne à sucre) ou des produits de leur métabolisme (par exemple toxine de *Bacillus thuringiensis* utilisée dans la lutte contre des chenilles de Lépidoptères ou des larves de moustiques).

Produit phytosanitaire

(ou produit chimique ou produit phytopharmaceutique ou pesticide)

Ce terme doit être préféré à « pesticide ».

Préparation commerciale constituée d'une ou de plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur.



Préparation destinée, selon les cas, à :

- protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action, pour autant que ces substances ou préparations ne soient pas définies autrement (voir les points suivants) ;
- exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives ;
- assurer la conservation des produits végétaux, pour autant que ces substances ou produits ne fassent pas l'objet de dispositions particulières du Conseil ou de la Commission européenne concernant les agents conservateurs ;
- détruire les végétaux indésirables ou les parties de végétaux ;
- freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux, par une action chimique ou biologique.

Produit phytosanitaire non utilisable (PPNU)

Produit phytopharmaceutique non utilisable pour des raisons diverses (produit dont l'autorisation de mise sur le marché a été retirée, produit destiné à une culture abandonnée par l'utilisateur du produit...).

Prophylaxie ou action prophylactique

Ensemble des mesures physiques, variétales, culturales, ..., tendant à empêcher l'apparition d'ennemis des cultures ou à en minimiser les effets.

Protection intégrée

Voir « lutte intégrée ».

Ravageur

Organisme nuisible qui vit directement aux dépens de plantes ou de denrées en provoquant des dommages. Lorsque ceux-ci sont peu importants, on parle de déprédateur.

Résidus

Restes de substances actives sur les végétaux, dans le sol, etc. Les méthodes modernes d'analyse permettent de détecter des quantités infimes de résidus.

Résistance d'un organisme à l'action d'une substance active

Absence d'inhibition ou inhibition réduite du développement d'un organisme nuisible après application(s) d'un produit phytopharmaceutique. Cette résistance peut être naturelle ou acquise. Elle peut se manifester à l'égard de plusieurs substances actives. Dans ce cas, on distingue la résistance croisée « positive », la résistance croisée « négative » et la résistance multiple.

Le terme de « tolérance » utilisé dans ce sens est à rejeter.



Spécialité d'un produit phytosanitaire

Produit(s) formulé(s) de composition définie, autorisé(s) à la vente sous un nom de marque.

Substance active ou matière active

Substance ou microorganisme qui détruit ou empêche l'ennemi de la culture de s'installer.

Dans certains cas, la substance peut être associée à un certains nombre de formulants (mouillants, solvants, anti-moussants...) qui la rendent utilisable par l'applicateur.

Substance cancérogène

Substance pouvant par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, produire le cancer ou en augmenter la fréquence.

Substance mutagène

Substance pouvant par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, produire des défauts héréditaires ou en augmenter la fréquence.

Substance reprotoxique ou toxique pour la reproduction

Substance pouvant par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, produire ou augmenter la fréquence d'effets indésirables non héréditaires dans la progéniture ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductrices.

Surface agricole utilisée (SAU)

Elle comprend les surfaces en céréales, cultures industrielles, fourrages, superficies toujours en herbe, légumes, fleurs et plantes ornementales, vignes, vergers, jachères, ainsi que les jardins familiaux. Mais le sol des bâtiments et des cours, les landes non productives comme les friches, les superficies boisées en sont exclus. Il en est de même pour le territoire non agricole des exploitations comme les étangs, les jardins d'agrément et les chemins privés.

Symptômes

Les symptômes révèlent des altérations du végétal par rapport au phénotype attendu, tandis que les dégâts se rapportent au produit ou au potentiel de production. Les symptômes peuvent être localisés ou généralisés, s'ils s'étendent par la voie du système conducteur, on les qualifie de systémiques. Suivant leur vitesse de dévolution, on distingue les maladies aiguës (maladies à évolution rapide) et les maladies chroniques (maladies à évolution lente).

Systémique

Véhiculé à l'intérieur d'une plante par la sève : cela peut être le cas d'un pathogène (virus...) ou d'un produit chimique (le traitement est dit endothérapeutique).



Ne pas confondre un traitement systémique avec traitement systématique (traitement répété plusieurs fois selon le calendrier)

Tolérance vis-à-vis d'un parasite ou d'une maladie

La tolérance vis-à-vis d'un agent pathogène se quantifie sur le plan des symptômes (tolérance vis-à-vis du parasite) ou des dégâts subis par les cultures (tolérance vis-à-vis d'une maladie).

La tolérance vis-à-vis du parasite caractérise les plantes capables d'être colonisées par un agent pathogène, de supporter sa multiplication ainsi que le contact avec ses toxines éventuelles, sans présenter de symptômes importants.

La tolérance vis-à-vis de la maladie caractérise les plantes capables d'assurer une production satisfaisante malgré leur infection par un pathogène.

Toxicité

Effet nocif d'une substance après pénétration dans l'organisme vivant.

Traitement dirigé

Traitement réalisé avec un matériel adapté (buses spéciales, caches...) permettant de protéger la plante cultivée ou les parties sensibles de celle-ci.

Traitement généralisé

Traitement effectué sur la totalité, soit de la végétation, soit de la surface d'un terrain cultivé ou non. Synonyme : traitement en plein.

Traitement localisé

Traitement effectué sur une partie seulement, soit de la végétation, soit de la surface d'un terrain cultivé ou non.

Translaminaire (ou pénétrant)

Qualifie une substance capable de pénétrer dans la plante et de diffuser à travers plusieurs couches de cellules d'un même organe. Synonyme : pénétrant.

Usage

L'autorisation de mise sur le marché d'une préparation phytopharmaceutique est attribuée pour un ou plusieurs usages agréés. La procédure d'extension d'usage consiste à autoriser pour un ou plusieurs nouveaux usages l'utilisation d'une préparation phytopharmaceutique déjà autorisée.



Un usage est matérialisé par une association « végétal ou famille de végétaux - mode de traitement - maladie ou ravageur visé » ou « culture - intervention phytosanitaire ». Il se rattache à une culture.

Un usage majeur est un usage correspondant à une culture de forte importance économique, ou à une maladie ou un ravageur très répandu sur le territoire.

Un usage mineur est un usage de faible importance économique nationale. Cette catégorie comprend les usages pour lesquels les méthodes de lutte peuvent être inexistantes ou insuffisantes ou pour lesquels les préparations autorisées n'apportent pas de solution satisfaisante.

Virus

Agent infectieux très petit, qui possède un seul type d'acide nucléique, ADN ou ARN, et qui ne peut se reproduire qu'en parasitant une cellule.

Zone non traitée (ZNT)

Pour une préparation phytopharmaceutique, surface caractérisée par sa largeur en bordure d'un point d'eau, limitée d'un côté par la berge du point d'eau et ne pouvant recevoir aucun traitement avec cette préparation.

Cette zone peut être cultivée ou non. Elle peut être enherbée ou plantée d'une haie.

Pour les cours d'eau, la berge correspond à la limite du lit mineur.

Bibliographie

ACTA, Association de coordination technique agricole, Paris, France. [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.acta.asso.fr/> >

ACTA, 2008. Index Phytosanitaire 2008, 44^e édition. ACTA, Association de coordination technique agricole, Paris, France, 844 p. ISBN 2-85794-240-0. [Deux versions : ouvrage seul ou ouvrage + logiciel Phytacta 2008 sur cédérom.]

ACTA, 2008. Logiciel PhytActa 2008. Cédérom. ACTA, Association de coordination technique agricole, Paris, France, ISBN 2-85794-241-9. (PhytActa est une base de données sur les produits phytosanitaires qui permet de faire des sélections rapides par substance active, spécialité commerciale, firme, type de traitement, etc.).

ACTA, UIPP, 2002. Recueil des effets non intentionnels des produits phytosanitaires. Groupe Actions secondaires, DGAL/SDQPV – UIPP-ACTA, Paris, France, 8^e édition ACTA, 492 p. ISBN 2-85794-207-9.

ADIVALOR, Agriculteurs distributeurs industriels pour la valorisation des déchets de l'agro-fourmiture. [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.adivalor.fr> >.

AFPP, Association française de protection des plantes, Alfortville, France. [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.afpp.net/> >.

ARMEFLHOR, Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière légumière et horticole, Saint-Pierre, La Réunion, France. Site Internet [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.armeflhor.fr/> >

Blancard D., 1988. Maladies de la tomate. Observer, identifier, lutter. Coédition INRA Editions et PHM Revue Horticole. INRA Editions, Versailles, France, 232 p.

Boutillier D., Bourglan Y., 2000. Étude de la fertilisation et de l'absorption minérale en culture de tomate hors-sol à la Réunion. Rapport interne CIRAD, 24 p. + annexes.

CTIFL, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, France. [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.ctifl.fr/> >

CTIFL, 1991. Protection phytosanitaire des légumes et petits fruits, lutte biologique, chimique et intégrée. Paris, France, CTIFL, 469 p.

Cariglia A., 2007. Lutte préventive contre le flétrissement bactérien en culture de tomate hors sol ; Etat des connaissances et conseils. Pôle de Protection des Plantes, Saint-Pierre, La Réunion, diffusé par ARMEFLHOR Saint-Pierre, La Réunion, 148 p. [On-line] [09-12-2008] Document en ligne à la rubrique Publications du site Internet < URL <http://www.armeflhor.fr/> >

Chambre d'agriculture de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion, France. [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.reunion.chambagri.fr/> >.

De Villère O., 1974. Besoins en eau des cultures sous serre, essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. Acta Horticulturae 35 : 123-129.



Dharma D. Shukla, Colin W. Ward, Alan Alec Brunt, 1994. The Potyviridae. Oxford University Press, UK. ISBN 0851988644.

FDGDON-Réunion, Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles de La Réunion, Saint-Pierre, La Réunion, France. Site Internet [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.fgdgon974.fr/> >

Lepoivre P., 2003. Phytopathologie. Editions De Boeck Université, Louvain-la-Neuve, Belgique, 432 p. ISBN 2804141152. Voir aussi les cours en ligne de P. Lepoivre [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.fsagx.ac.be/pp/coursenligne.php> >

Letard M., 2000. Maîtrise de l'irrigation fertilisante tomate sous serre et abris en sol. Paris, France, CTIFL, 220 p. ISBN 2-87911-068-8.

Messiaen C.-M., 1998. Le potager tropical. CILF (Conseil international de la langue française), Paris, France, 3^e édition refondue, 600 p. ISBN 2-85319-273-3. (Voir rubrique Publications, Agronomie, sur le site Internet du CILF [On-line] [09-12-2008] < URL <http://www.cilf.org>>).

Ministère français de l'Agriculture et de la Pêche. E-phy, le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France. [On-line] [09-12-2008] < URL <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/> >

PRPV, Programme régional de protection des végétaux. Organismes nuisibles [On-line] [09-12-2008] < URL http://www.prpv.org/index.php/fr/organismes_nuisibles >

Raynal C., Le Quillec S., Gra D., 2007. La fertilisation azotée des légumes sous abri. CTIFL, Paris, France. ISBN 2-87911-221-4.

Reckhaus P., 1997. Maladies et ravageurs des cultures maraîchères, à l'exemple de Madagascar. Ed. Margraf Verlag BP 1205, 97985 Weikersheim, Allemagne, 402 p. ISBN 3-8236-1274-3.

Rivière E., Bourglan Y., 2004. Règlements et conseils techniques pour la production de plants maraîchers de qualité à l'île de la Réunion. ARMEFLHOR, Saint-Pierre, La Réunion, France, 64 p.

Tassin J., Gauvin J., 1999. Synthèse des expérimentations agroforestières conduites à La Réunion (période 1990-1999). Programme d'expérimentations forestières et agroforestières. CIRAD, ONF, Région Réunion, Saint-Pierre, 24 p.

Trottin-Caudal Y., 1995. Tomate sous serre et abris. Maîtrise de la protection phytosanitaire. CTIFL, Paris, France, 174 p. ISBN 2-87911-069-6.

Trottin-Caudal Y., Villeneuve F., 2006. Reconnaître les auxiliaires légumes et fraises sous serres, abris et en plein champ. CTIFL, Paris, France. ISBN 2-87911-193-5.

Jones J.B., Jones John Paul, Stall R.E., Zitter T.A., 1997. Compendium of tomato diseases. Serie: The disease compendium series of the American Phytopathological Society. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA, 73 p.

Wacquart C., 1995. Tomate sous serre et abris. Maîtrise de la conduite climatique. CTIFL, Paris, France. ISBN 2-87911-070-X.

© CIRAD 2009
www.cirad.fr
www.cirad.fr/reunion
ISBN CIRAD : 978-2-87614-663-1
EAN CIRAD : 9782876146631
Dépôt légal : février 2009

Diffusion

FDGDON Réunion, Fédération départementale des groupements
de défense contre les organismes nuisibles de La Réunion
23 Rue Jules Thirel – Cour de l'usine Savanna
97460 Saint Paul, La Réunion, France
Téléphone : 02 62 45 20 00 – Télécopie : 02 62 45 25 42
accueil@fdgdon974.fr
www.fdgdon974.fr

Crédits photographies de couverture

© FDGDON Réunion

Fabrice Le Bellec, Serge Simon : © CIRAD

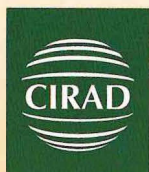
Création graphique, conception maquette et mise en page
Martine Duportal, CIRAD, Montpellier

Impression

IMP'ACT imprimerie

N° 483 ZAC des Vautes

34980 Saint-Gély-du-Fesc, France



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement



Fédération
départementale
des groupements
de défense contre
les organismes
nuisibles
Réunion

Diffusion

FDGDON Réunion
23 Rue Jules Thirel
Cour de l'usine Savanna
97460 Saint Paul
La Réunion, France
Téléphone :
02 62 45 20 00
Télécopie :
02 62 45 25 42
accueil@fdgdon974.fr
www.fdgdon974.fr

© CIRAD 2009
www.cirad.fr
www.cirad.fr/reunion



Guide de la tomate hors sol à La Réunion

- Le *Guide de la tomate hors sol à La Réunion* rassemble des connaissances acquises par l'ARMEFLHOR, le CIRAD et la FDGDON. En culture hors sol sous abri, des techniques spécifiques doivent être maîtrisées tout en tenant compte de l'environnement. Ce guide couvre le cycle cultural complet de la tomate, depuis l'implantation des abris jusqu'à la récolte, en incluant la protection phytosanitaire. L'itinéraire cultural est décrit étape par étape, et des informations concrètes sont apportées sur la gestion de la culture et les besoins en matériel et en main-d'œuvre.
- Les chapitres consacrés à la protection phytosanitaire mettent l'accent sur la protection intégrée des cultures, respectueuse de la santé et de l'environnement.
- Le *Guide de la tomate hors sol à La Réunion* s'adresse à tous les acteurs du monde agricole. Il propose des conseils adaptés à la diversité des situations de l'île de La Réunion. A ce titre, il intéressera aussi les professionnels travaillant dans d'autres zones tropicales.



Prix 19 €



ISBN CIRAD : 978-2-87614-663-1
EAN CIRAD : 9782876146631