



Laurent Urban • Isabelle Urban

La production sous serre

Tome 1

La gestion du climat

2^e édition

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

LA PRODUCTION SOUS SERRE

Tome 1

La gestion du climat

2^e édition

Laurent Urban

Isabelle Urban



11, rue Lavoisier
75008 Paris

Chez le même éditeur

La production sous serre

Tome 2 : L'irrigation fertilisante en culture hors sol

L. Urban., I. Urban, 2010

Les productions florales

H. Vidalie, 8^e édition, 2009

*La résistance chez les plantes — Principes de la stratégie défensive
et applications agronomiques*

N. Benhamou, 2009

Biopesticides d'origine végétale

C. Regnault-Roger, B. Jr Philogène, C. Vincent , coord., 2002

Multiplication des plantes horticoles

D. Boutherin, G. Bron., 2^e édition 2002



© LAVOISIER, 2010

ISBN : 978-2-7430-1204-5 (2^e édition, 2010)

ISBN : 978-2-7430-0205-5 (1^{re} édition, 1997)

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code pénal art. 425).

AVANT-PROPOS

Le métier de producteur sous serre est l'un des plus exigeants qui soit. Les producteurs sous serre doivent savoir tout à la fois gérer, encadrer, vendre et produire.

L'acte de produire apparaît lui-même incroyablement complexe. Les producteurs sont confrontés, dans la pratique journalière de leur activité, à des problèmes qui mettent en jeu les interactions du climat, de l'irrigation fertilisante, des cultures, des agents pathogènes...

Le développement d'outils d'aide à la décision, reposant sur des modèles, facilite la tâche des producteurs. Mais il ne faut pas se bercer d'illusions. Le producteur reste au bout de compte l'ultime décisionnaire qui doit assumer seul la responsabilité de ses choix. En effet, de même que l'on sait désormais que les robots ne remplaceront pas à court terme la main-d'œuvre dans les serres, la complexité des décisions techniques à prendre est telle qu'aucun système automatique d'optimisation ne peut être envisagé.

L'objectif principal de cet ouvrage est d'aider les producteurs, les chefs de culture et les conseillers horticoles ou maraîchers à renforcer leur expertise, en leur fournissant un certain nombre d'éléments de connaissance, et surtout des raisonnements opérationnels.

Cet ouvrage constitue également une « introduction aux cultures de serre », s'adressant aux lecteurs qui n'ont pas l'expérience de la production : enseignants, chercheurs, étudiants, ou candidats à l'installation.

Pour cela, il est organisé pour répondre successivement aux questions suivantes :

1. Comment traduire en objectifs scientifiques les objectifs technico-économiques des différents types de production de serre ?

2. Comment peut-on essayer d'atteindre ces objectifs scientifiques, d'abord en choisissant le site d'implantation des serres, puis la serre elle-même, enfin en agissant sur les facteurs de l'environnement ?
3. Quelles sont les possibilités de maîtrise des facteurs de l'environnement offertes par les serres et leurs équipements, et comment les utiliser au mieux ?

Un lexique très complet a été placé en annexe à l'usage des lecteurs qui éprouveraient le besoin de rafraîchir leurs connaissances scientifiques et de tous ceux qui ne sont pas familiers du vocabulaire technique employé en culture sous serre.

Les aspects liés à l'irrigation et à la fertilisation n'ont pas été traités dans cet ouvrage. Ils sont traités dans le deuxième tome consacré à la technique de culture hors sol.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à Gérard Chassériaux, Alain Coudret, Francis Ginestet, Pierre Magne, Jean-Yves Péron, Henri Vidalie ainsi qu'aux personnes et aux sociétés qui leur ont aimablement permis d'utiliser leurs photos :

- | | |
|------------------------|------------------|
| – Smiemans Projecten ; | – Marc Hofmann ; |
| – Richel Serre ; | – Primagaz ; |
| – Dalsem b.v. ; | – Koppert b.v. ; |
| – BN Serres ; | – Filclair ; |
| – Giordano ; | – Hortimax ; |
| – Jean Urban ; | – Jiffy. |

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

1. Généralités	1
2. L'importance des productions de serre	5
2.1 France	5
2.1.1 Cultures légumières	7
2.1.2 Horticulture ornementale	7
2.2 Europe	9
2.3 Reste du monde	10

Chapitre 1

OBJECTIFS DE LA PRODUCTION DE SERRE

1. Objectifs techniques et économiques	13
2. Objectifs scientifiques	14
2.1 Maximisation du rendement	14
2.1.1 Une vision de bioclimatologiste : le schéma d'élaboration du rendement	15
2.1.2 Relation entre croissance et rendement commercial	17
2.1.3 Objectifs scientifiques de l'augmentation du rendement	18
2.2 Optimisation de la qualité	19
2.2.1 Critères de qualité des produits horticoles de serre	19
2.2.2 Quelques pistes pour comprendre l'élaboration de la qualité	19
2.3 Maîtrise du calendrier de production	22
2.3.1 Programmation de la date d'entrée en production des plantes insensibles à la photopériode et n'ayant pas de besoin de froid	22
2.3.2 Programmation de la production chez les plantes insensibles à la photopériode et n'ayant pas de besoin de froid	22

2.3.3 Programmation de la production chez les plantes sensibles à la photopériode ou ayant besoin de froid pour fleurir	23
2.4 Limitation des impacts environnementaux négatifs	23
2.5 Économies d'énergie	24

Chapitre 2

EFFETS DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LE MÉTABOLISME CARBONE

1. Photosynthèse	25
1.1 Généralités	25
1.2 Facteurs internes	27
1.2.1 Résistance à la diffusion gazeuse	27
1.2.2 Accumulation des produits de la photosynthèse	28
1.2.3 Disponibilité des protéines de la photosynthèse	31
1.2.4 Âge des tissus	31
1.3 Facteurs externes	31
1.3.1 Lumière	32
1.3.2 Température	36
1.3.3 Taux de CO ₂	37
1.3.4 Hygrométrie	41
2. Respiration	42
2.1 Généralités	42
2.2 Facteurs influençant la respiration	43
3. Translocations et relations sources-puits	44
3.1 Translocations	44
3.2 Influence de la température	45
3.3 Relations sources-puits	45
4. Problème de l'ajustement des températures – Rôle des modèles de croissance et de production	47
4.1 Comment fixer les consignes de température ?	47
4.2 Exemple de modèle de croissance	49
4.2.1 Expression de la photosynthèse	49
4.2.2 Expression de la respiration de maintien	49
4.2.3 Expression de la respiration de croissance	49
4.2.4 Bilan	50
4.3 Perspectives de la modélisation	51

Chapitre 3

EFFETS DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA QUALITÉ

1. Fleurs coupées	53
1.1 Qualité sensible	53
1.1.1 Taille des tiges florales et des boutons floraux L'exemple du rosier	53
1.1.2 Aspect externe	56

1.2	Qualité latente	59
1.2.1	Influence de la lumière et du CO ₂	59
1.2.2	Influence de la température	60
1.2.3	Influence de l'hygrométrie	60
2.	Légumes	61
2.1	Qualité sensible	61
2.1.1	Calibre des légumes-fruits	62
2.1.2	Forme des fruits	63
2.1.3	Coloration	64
2.1.4	Fermeté	65
2.1.5	Défauts extérieurs	65
2.2	Qualité latente	66
2.2.1	Aspects sanitaires	66
2.2.2	Goût	66
2.2.3	Valeur nutritive	67
2.2.4	Qualité de conservation	70
3.	Plantes en pots, plantes à massifs et jeunes plants	71
3.1	Qualité sensible	71
3.1.1	Influence de la lumière	71
3.1.2	Influence de la température	72
3.1.3	Influence de l'hygrométrie	74
3.2	Qualité latente	74
3.2.1	Influence de la lumière	74
3.2.2	Influence des températures	75
3.2.3	Influence de l'hygrométrie	75

Chapitre 4

EFFETS DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LE CALENDRIER DE PRODUCTION

1.	Entrée en production des plantes insensibles à la photopériode et n'ayant aucun besoin de froid	78
1.1	Influence de la lumière, du taux de CO ₂ , du rapport C/N, des relations sources-puits et des températures	78
1.1.1	Effet de la lumière et du CO ₂	78
1.1.2	Effet du rapport carbone sur azote	79
1.1.3	Effet des compétitions entre les puits	79
1.1.4	Effet de la température	79
1.2	Exemple de modélisation	80
1.2.1	Détermination des différents stades de développement des tiges florales	80
1.2.2	Effet du rayonnement journalier (PAR)	81
1.2.3	Effet de la température moyenne sur 24 heures	81
2.	Entrée en production des plantes photopériodiques ou ayant besoin de froid pour fleurir	82
2.1	Effet des températures	82

2.2	Influence de la photopériode	84
2.2.1	Photopériodisme	84
2.2.2	Plantes sensibles à la photopériode	86
2.2.3	Éclairage photopériodique et occultation	86
2.2.4	Cultures dirigées ou programmées	88

Chapitre 5

MALADIES ET RAVAGEURS SOUS SERRE

1.	Généralités	91
2.	Ravageurs des cultures sous serre	92
2.1	Arthropodes ravageurs des cultures sous serre	92
2.2	Mécanismes de défense des plantes vis-à-vis des ravageurs	96
2.3	Principes de la lutte biologique et de la protection intégrée, et leurs perspectives	97
2.3.1	Définitions	97
2.3.2	Principes généraux	98
2.3.3	Lâchers inondatifs d'auxiliaires	99
2.3.4	Confusion sexuelle	99
2.3.5	Pièges à insectes	100
2.3.6	Mâles stériles	100
2.3.7	Biopesticides bactériens	100
2.3.8	Champignons entomopathogènes	101
2.3.9	Perspectives des virus	101
3.	Maladies des cultures sous serre	102
3.1	Résistance des plantes aux maladies	102
3.2	Effets des facteurs climatiques sur le développement des maladies sur plantes maraîchères et ornementales de serre	103
3.2.1	Influence de la lumière	103
3.2.2	Influence de la température	103
3.2.3	Influence de l'hygrométrie	105
3.2.4	Influence du vent	106
3.3	Perspectives des biofongicides	107

Chapitre 6

ÉCHANGES DE CHALEUR EN SERRE

1.	Transferts de chaleur	109
1.1	Conduction	109
1.2	Convection	110
1.2.1	Convection sans transfert de masse	110
1.2.2	Convection avec transfert de masse (changement de phase liquide ↔ vapeur)	112
1.3	Rayonnement	115
2.	Propriétés de l'air humide	120

2.1	Rappel de quelques notions de physique	120
2.1.1	Constante des gaz parfaits.	120
2.1.2	Masse volumique	120
2.1.3	Chaleur spécifique ou chaleur massique	120
2.1.4	Chaleur latente de vaporisation	120
2.1.5	Pression partielle d'un gaz	120
2.2	Propriétés de l'air humide	120
2.2.1	Teneur en eau de l'air (souvent appelée humidité absolue)	120
2.2.2	Pression de vapeur saturante/point de rosée.	121
2.2.3	Humidité relative	122
2.2.4	Déficit de saturation en vapeur d'eau	122
2.2.5	Potentiel hydrique.	122
2.2.6	Enthalpie massique.	123
2.3	Application aux échanges de chaleur par renouvellement d'air en serre	123
3.	Échanges de chaleur en serre et calcul du bilan thermique.	124
3.1	Principes.	124
3.2	Exemple de modélisation	125
3.2.1	Surface du sol	125
3.2.2	Végétation	125
3.2.3	Tubes de chauffage.	126
3.2.4	Air intérieur	126
3.2.5	Paroi de la serre	126
3.3	Exemple de calcul de la longueur de tubes de chauffage à installer	127

Chapitre 7

PRINCIPES DE RÉGULATION APPLIQUÉS À LA SERRE

1.	Généralités.	129
2.	Différentes méthodes de régulation	129
2.1	Régulation manuelle.	130
2.2	Régulation automatisée	130
2.3	Gestion du climat	132
2.3.1	Niveau 0.	132
2.3.2	Niveau 1.	132
2.3.3	Niveau 2.	132
3.	Différents modes de commande	134
3.1	Modes non progressifs	134
3.2	Modes progressifs	135
3.2.1	Mode flottant	135
3.2.2	Mode proportionnel	135
3.2.3	Mode proportionnel intégral.	136
3.2.4	Mode proportionnel intégral dérivé.	136

Chapitre 8

CHOIX DU SITE, DE LA SERRE ET DE SA COUVERTURE

1. Choix du site d'implantation des serres	137
1.1 Environnement naturel	137
1.1.1 Caractéristiques microclimatiques du site	137
1.1.2 Nature du terrain	138
1.1.3 Ressources en eau	139
1.2 Contexte économique et social	139
1.2.1 Proximité des marchés ou des voies de communication qui permettent de les atteindre	139
1.2.2 Fiabilité des approvisionnements et coût des consommables	140
1.2.3 Disponibilité et coût de la main d'œuvre locale	140
1.2.4 Avantages fiscaux, aides publiques consenties aux serristes qui veulent s'installer et taux bancaires	140
1.2.5 Valeur du foncier	141
1.3 Environnement scientifique et technique	141
1.4 Conclusion	142
2. Choix de la serre et de sa couverture	142
2.1 Description de la serre	142
2.1.1 Principaux types de serres	142
2.1.2 Structure	142
2.1.3 Forme	147
2.2 Choix de la serre (en plastique ou en verre ?)	148
2.2.1 Avantages du plastique	148
2.2.2 Inconvénients et contraintes des plastiques	149
2.3 Choix de la couverture	152
2.3.1 Verres	152
2.3.2 Matériaux plastiques	153

Chapitre 9

MAÎTRISE DE LA LUMIÈRE ET DU CO₂

1. Lumière	161
1.1 Choix de l'orientation de la serre, des rangs de culture et de la densité de plantation	161
1.1.1 Orientation de la serre et des rangs de culture	161
1.1.2 Densité de plantation	162
1.2 Éclairage artificiel	163
1.2.1 Éclairage photosynthétique et éclairage photopériodique	163
1.2.2 Types de lampes utilisés en serre	167
1.3 Écrans d'ombrage et d'occultation	169
2. CO ₂	172
2.1 Taux de CO ₂ recommandés pratiquement	172
2.2 Sources de CO ₂	174
2.2.1 Fumées de chaudières	174

2.2.2 CO ₂ liquide	178
2.2.3 Biogaz	179
2.3 Distribution du CO ₂ dans les serres	180

Chapitre 10

MAÎTRISE DE LA TEMPÉRATURE ET DE L'HYGROMÉTRIE

1. Consignes pratiques de températures et d'hygrométrie	181
1.1 Consignes d'humidité	181
1.2 Consignes de températures	182
2. Chauffage	183
2.1 Sources d'énergie	183
2.1.1 Charbon	183
2.1.2 Bois et résidus	186
2.1.3 Fioul domestique (FOD)	187
2.1.4 Fioul lourd (FO2)	188
2.1.5 Gaz combustibles	189
2.2 Systèmes de chauffage de serre	195
2.2.1 Chauffage radiatif ou chauffage convectif ?	195
2.2.2 Thermosiphon	196
2.2.3 Chauffage racinaire	208
2.2.4 Production d'air chaud	213
3. Refroidissement et humidification des serres	218
3.1 Ventilation	219
3.1.1 Ventilation statique	219
3.1.2 Ventilation dynamique	222
3.2 Cooling system	223
3.3 Nébulisation fine	226
3.3.1 Systèmes à eau sous forte pression	228
3.3.2 Systèmes à eau à basse pression	229
3.3.3 Systèmes air/eau	229
3.4 Refroidissement du sol et des substrats	230
4. Déshumidification	231
4.1 Chauffage associé à la ventilation	231
4.2 Systèmes de déshumidification de l'air	231
5. Économies d'énergie	232
5.1 Limitation des déperditions	232
5.1.1 Doublage des parois latérales externes	235
5.1.2 Écrans thermiques	235
5.1.3 Compartimentage des serres	236
5.1.4 Doubles protections temporaires	236
5.1.5 Protection des issues	237
5.1.6 Emplacement des allées principales	237
5.1.7 Brise-vent	237
5.1.8 Optimiser le système de chauffage	240

5.2 Sources d'énergie alternatives	240
5.2.1 Pompes à chaleur	241
5.2.2 Rejets thermiques et géothermie	244
5.2.3 Énergie solaire	244
5.2.4 Biogaz	246
5.2.5 Cogénération	246

Chapitre 11

MAÎTRISE DES RAVAGEURS ET DES MALADIES

1. Lutte chimique	249
1.1 Appareils de traitement phytosanitaire	249
1.1.1 Systèmes portables	249
1.1.2 Systèmes à poste fixe ou semi-fixe	250
1.1.3 Systèmes mobiles automatiques	251
1.2 Produits de traitement autorisés	253
2. Lutte biologique et la lutte intégrée	253
2.1 Généralités	253
2.2 Situation et perspectives	254
3. Désinfection des serres et mesures prophylactiques	260
3.1 Désinfection des serres	260
3.1.1 Pourquoi désinfecter les serres et leurs équipements?	260
3.1.2 Quand désinfecter?	261
3.1.3 Quels produits utiliser?	261
3.1.4 Quelles mesures prendre avant de procéder à la désinfection proprement dite?	262
3.1.5 Comment désinfecter une serre vide?	263
3.2 Prophylaxie	263
3.3 Conclusion	264

Chapitre 12

RÉGULATION CLIMATIQUE, GESTION CLIMATIQUE ET ROBOTISATION EN SERRE

1. Régulation en serre	265
1.1 Mesures utilisées par les systèmes de régulation de serre	265
1.1.1 Mât météorologique	265
1.1.2 Compartiments de serre	266
1.1.3 Chaudières	266
1.1.4 Station de CO ₂	267
1.2 Contrôles effectués par les systèmes de régulation de serre	267
1.2.1 Fonction chauffage	268
1.2.2 Fonction aération	268
1.2.3 Fonction ombrage	268
1.2.4 Fonction enrichissement en CO ₂	268

1.2.5	Fonction humidification de l'air	268
1.2.6	Autres fonctions	269
1.3	Actions commandées par les systèmes de régulation de serre	269
1.3.1	Compartiments de serre	269
1.3.2	Chaudières	269
1.3.3	Station de CO ₂	270
2.	Gestion climatique	270
2.1	Avantages	270
2.2	Ordinateurs de régulation climatique	270
2.2.1	Description	270
2.2.2	Différents types d'ordinateurs de gestion climatique rencontrés en serre	272
2.3	Tendances actuelles	273
2.3.1	Intégration de la régulation climatique et de celle de l'irrigation fertilisante	273
2.3.2	Utilisation d'informations fournies en temps réel par de nouveaux capteurs	274
2.3.3	Évolution de la mission des ordinateurs de serre : de la régulation au pilotage	274
2.3.4	Conclusion	276
2.4	Fonctions des ordinateurs de gestion climatique	276
2.4.1	Gestion des températures	277
2.4.2	Gestion de l'hygrométrie	278
2.4.3	Gestion de la lumière	279
2.4.4	Gestion du CO ₂	279
2.4.5	Gestion de la chaufferie	279
2.4.6	Gestion des alarmes	280
2.5	Dialogue avec l'utilisateur	281
2.5.1	Ordres	281
2.5.2	Sorties	281
2.6	Sécurité et service après-vente	281
3.	Mesures physiques effectuées en serre	282
3.1	Lumière	282
3.2	Températures d'air, de sol ou de substrat, et d'eau (sur le circuit de chauffage)	283
3.3	Hygrométrie	284
3.3.1	Psychromètres	284
3.3.2	Capteurs capacitifs	284
3.4	Vitesse et orientation du vent	285
3.5	Détection de la pluie	285
3.6	Taux de CO ₂	285
4.	Les robots dans la serre	285
	BIBLIOGRAPHIE	289

ANNEXES

1. Abréviations et sigles 305
2. Indices 308
3. Unités 308
4. Préfixes 309
5. Liste des figures 309
6. Liste des photographies 312

LEXIQUE 317

INDEX 337

Laurent Urban est ingénieur des techniques horticoles et docteur en biologie et physiologie végétales. Ancien directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique, il est aujourd'hui professeur à l'université d'Avignon et des Pays de Vaucluse où il enseigne la physiologie végétale, l'agronomie et l'horticulture.

Isabelle Urban est ingénieur des techniques horticoles.

La production sous serre est une activité exigeante et complexe, impliquant de multiples interactions entre les plantes, le climat, les systèmes d'irrigation et de nutrition, le chauffage, les agents pathogènes...

Cette nouvelle édition de **La production sous serre**, fortement réactualisée, couvre en deux tomes tous les aspects scientifiques et techniques de cette activité en tenant compte de ses plus récents développements.

Ce premier tome, consacré à la gestion du climat, traite principalement de la serre sous tous ses aspects : les objectifs de la production sous serre ; la physique des serres, ses équipements ainsi que les principes de régulation et de pilotage ; les effets des facteurs climatiques sur le métabolisme végétal, la qualité, le calendrier de production ainsi que les maladies et les ravageurs.

Chaque thème est abordé avec une approche qui privilégie les économies d'énergie et le respect de l'environnement. La qualité nutritionnelle des légumes cultivés sous serre est également traitée.

Les aspects liés à l'irrigation et à la fertilisation sont traités dans le deuxième tome consacré à la technique de culture hors sol.

L'objectif principal de cet ouvrage de référence est d'aider les producteurs, les chefs de culture et les conseillers horticoles ou maraîchers à renforcer leur expertise, en leur fournissant les connaissances scientifiques et techniques indispensables ainsi que des raisonnements opérationnels. Il sera également utile aux enseignants, aux chercheurs, aux étudiants et aux candidats à l'installation.

978-2-7430-1204-5



9 782743 012045