
Production de la tomate de serre au Québec



Guide de culture préparé par

Agrisys consultants inc.

Pour le Syndicat des producteurs en serre du Québec



Avril 2015

PRODUCTION DE LA TOMATE DE SERRE AU QUÉBEC

Ce guide de culture a été réalisé dans le cadre du programme d'appui financier aux regroupements et aux associations de producteurs désignés, Volet C.

Appui à la réalisation de projets novateurs et structurants

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Rédaction

Gilles Turcotte, agronome, M.Sc., Agrysis consultants inc. Chapitres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, annexes 1, 3, 4 et 5 et collaboration pour le chapitre 7 et l'annexe 2.

Régis Larouche, agronome, M.Sc., Agrysis consultants inc. Chapitres 7, 10 et collaboration pour les chapitres 1, 4 et 6.

André Carrier, agronome, M.Sc., conseiller régional en horticulture (MAPAQ), Direction régionale de la Chaudière-Appalaches. Chapitre 8.

Liette Lambert, agronome, Conseillère petits fruits et sericulture maraîchère (MAPAQ), Direction régionale de la Montérégie, secteur ouest. Méthodologie Tom'Pousse (annexe 2) et collaboration pour le chapitre 2.

Coordination, édition et mise en page : Gilles Turcotte

Photos : Gilles Turcotte : page couverture, avant-propos, chapitres 2, 3, 4, 5, 6 et 9. Régis Larouche : page 49 (chapitre 4), chapitres 7 et 10. André Carrier : chapitre 8. Liette Lambert : annexe 2.

Révision : André Carrier, Régis Larouche et Liette Lambert.

Avertissements

Au moment de sa rédaction, l'information contenue dans le présent guide était jugée représentative de la pratique de la culture en serre de la tomate au Québec et son utilisation demeure sous l'entière responsabilité du lecteur.

Pour information et commentaires

Gilles Turcotte, agronome, M.Sc., Agrysis consultants inc.
Téléphone : 418 932-7499
Courriel : g.turcotte@agrisys.ca

Table des matières

CHAPITRE 1	1
CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES DE LA TOMATE	1
1.1 EXIGENCES CLIMATIQUES DE LA TOMATE	1
FLORAISON ET FRUCTIFICATION	2
COMPOSITION D'UN PLANT DE TOMATE ET VALEUR NUTRITIONNELLE	3
<i>Tableau 1.1</i>	4
LES EFFETS DE LA TEMPERATURE SUR LA TOMATE DE SERRE	5
TEMPÉRATURE MOYENNE SUR 24 H	5
TEMPÉRATURE DE JOUR	6
TEMPÉRATURE DE PRÉ-NUIT	7
TEMPÉRATURE DE NUIT	7
BESOIN EN CO ₂ DE LA TOMATE	8
<i>Tableau 1.2</i>	10
TYPE DE TOMATE ET CULTIVARS	10
CHAPITRE 2	12
COMPRENDRE LE LANGAGE DE LA TOMATE	12
2.1 VIGUEUR, LUMIÈRE ET RÉPARTITION DES PHOTO-ASSIMILATS	12
<i>Tableau 2.1</i>	12
2.2 CROISSANCE VÉGÉTATIVE ET CROISSANCE GÉNÉRATIVE	14
<i>Figure 2.1</i>	15
2.3 ADAPTER LA CONDUITE CLIMATIQUE À L'ÉQUILIBRE DE LA TOMATE	16
<i>Tableau 2.2</i>	17
<i>Tableau 2.3</i>	18
2.4 BOUQUET FLORAL (GRAPPE)	19
CHAPITRE 3	20
CALENDRIER DE PRODUCTION, PRÉPARATION DES JEUNES PLANTS ET MISE EN CULTURE	20
3.1 CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES DU QUÉBEC	20
<i>Figure 3.1</i>	20
<i>Figure 3.2</i>	21
3.2 CALENDRIER ET POTENTIEL DE PRODUCTION	21
POTENTIEL DE PRODUCTION SOUS LE CLIMAT QUÉBÉCOIS	22
COMMENT ÉVALUER LE POTENTIEL DE PRODUCTION ?	22
<i>Tableau 3.1</i>	24
<i>Figure 3.3</i>	24
SIMULATION DU RENDEMENT ANNUEL	24
<i>Figure 3.4</i>	25
3.3 PRÉPARATION DES PLANTS DE TOMATE	26
CARACTÉRISTIQUES DE PLANTS DESIRÉES	27
POINTS DE REPERE A CONNAITRE ET A RECONNAITRE	28
<i>Figure 3.5</i>	28
<i>Figure 3.6</i>	29

Tableau 3.2	29
COMMENT « FABRIQUER » LE PLANT IDEAL ?	30
DU SEMIS AU REPIQUAGE	30
Tableau 3.3 <i>Gestion de la température en fonction du stade de développement des plants.</i>	33
DU REPIQUAGE À L'ESPACEMENT DES PLANTS	33
DE L'ESPACEMENT À LA MISE EN PLACE DANS LA SERRE	35
Tableau 3.4 <i>Densité nécessaire dans la pépinière selon la date de mise en place dans la serre pour un semis réalisé à la mi-novembre.</i>	36
Figure 3.7	36
MISE EN PLACE DANS LA SERRE	37
3.4 LE GREFFAGE DE LA TOMATE	38
TECHNIQUE DE GREFFAGE	41
SEMIS ET GERMINATION	41
DE LA LEVÉE AU GREFFAGE	41
CONSEILS ET CONSIGNES POUR LE GREFFAGE	42
ÉTAPES DU GREFFAGE	43
REPRISE DE LA GREFFE (FUSION)	44
3.5 LA PHYTOPROTECTION, ÇA COMMENCE DANS LA PÉPINIÈRE...	46
CHAPITRE 4	47
CONDUITE DE CULTURE	47
4.1 SYSTÈME DE CULTURE ET DE PALISSAGE	47
Figure 4.1	47
CHOIX DU SUBSTRAT	48
POROSITÉ	48
CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU	48
DIMENSION DES SACS DE CULTURE	48
VOLUME DE SUBSTRAT	48
FACILITÉ DE MISE EN PLACE	49
RECYCLAGE	49
STRUCTURE DE SERRE ET OPTIMISATION DES RANGS DE CULTURE	49
4.2 ENTRETIEN DES PLANTS DE TOMATE	49
DENSITE DE PLANTATION	50
AUGMENTATION DE LA DENSITE EN COURS DE CULTURE	50
Figure 4.2	51
TECHNIQUE DE L'EXTRA-BRAS	51
Figure 4.3	52
EFFEUILLAGE DE LA TOMATE	53
Figure 4.4	53
COMBIEN DE FEUILLES DEVRAIT-ON CONSERVER PAR PLANT ?	54
POSITION DES FEUILLES SUR LE PLANT	55
STRATÉGIE D'EFFEUILLAGE POUR OPTIMISER LA PRODUCTIVITÉ	56
ÉQUILIBRER LES PLANTS DE TOMATE AVANT LA PREMIERE RECOLTE	57
CONDUITE DE CULTURE RECOMMANDÉE POUR ÉQUILIBRER LES PLANTS	60
CHLOROSSES DES FEUILLES DE LA TÊTE DES PLANTS OU « TACHES DE CROISSANCE »	62
ADAPTER LA CONDUITE DE CULTURE POUR L'ÉTÉ	63
CONDUITE DE CULTURE ET CLIMATIQUE	63

LE PLANT IDÉAL POUR L'ÉTÉ.....	65
MANQUE DE VIGUEUR EN ETE	66
CAUSES POSSIBLES D'UN MANQUE DE VIGUEUR	66
CORRIGER LE MANQUE DE VIGUEUR	66
COUPER UN BOUQUET POUR REDONNER DE LA VIGUEUR	67
ÉTETAGE EN ETE	68
ADAPTER LA CONDUITE DE CULTURE POUR L'AUTOMNE	69
CONDUITE DE CULTURE ET CLIMATIQUE.....	70
PRÉVENIR LES PROBLÈMES PHYTOSANITAIRES	71
ADAPTER LA CONDUITE DE CULTURE POUR REDUIRE LA MOISSURE GRISE (<i>BOTRYTIS</i>).....	72
BIEN TERMINER LA CULTURE EN AUTOMNE	73
4.3 SUIVI DE CULTURE ET INDICATEURS AGRONOMIQUES.....	75
4.4 SUIVI D'APRÈS CULTURE	76
LA SERRE	77
LE SYSTEME DE CHAUFFAGE.....	77
LE SYSTEME D'IRRIGATION.....	78
LES EQUIPEMENTS ET LES OUTILS DE PRODUCTION.....	78
CHAPITRE 5	80
CONDUITE CLIMATIQUE	80
5.1 LES PRINCIPES DE BASE EN CONDUITE CLIMATIQUE.....	80
GESTION DE LA TEMPERATURE EN FONCTION DE LA LUMIERE.....	81
GESTION DE LA TEMPERATURE ET DE L'EQUILIBRE GENERATIF/VEGETATIF.....	82
<i>Figure 5.1</i>	83
GESTION DE L'EQUILIBRE GENERATIF/VEGETATIF	84
<i>Tableau 5.1</i>	85
TECHNIQUES DE LA PRE-NUIT ET DU FORÇAGE DE TEMPERATURE	86
<i>Figure 5.2</i>	87
EFFET DE LA PRÉ-NUIT	87
QUAND DOIT-ON UTILISER LA TECHNIQUE DE LA PRÉ-NUIT ?	88
QUELLES SONT LES LIMITES ?	88
FORÇAGE DE TEMPÉRATURE.....	88
EFFET DU FORÇAGE	89
5.2 CONDUITE CLIMATIQUE ADAPTÉE SELON LE STADE DE DÉVELOPPEMENT	89
LES STADES DU DEVELOPPEMENT DE LA TOMATE EN SERRE	90
STADE 3 – DEBUT D'ENRACINEMENT JUSQU'A LA FLORAISON DU 4 ^E BOUQUET.....	91
OBJECTIFS.....	91
CONDITIONS À ÉVITER	91
CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION	92
STADE 4 – NOUAISON DU 4 ^E BOUQUET JUSQU'A LA 1 ^{RE} RECOLTE	94
OBJECTIFS.....	94
CONDITIONS À ÉVITER.....	94
CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION	95
STADE 5 – PHASE DE PRODUCTION MAXIMALE	96
OBJECTIFS.....	96

CONDITIONS À ÉVITER	97
CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION	98
STADE 6 – RALENTISSEMENT DE LA PRODUCTION JUSQU'A LA DERNIERE RECOLTE	99
CONDITIONS À ÉVITER	100
CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION	101
5.3 GESTION DE L'HYGROMÉTRIE ET DE LA VENTILATION	102
<i>Figure 5.2</i>	104
<i>Tableau 5.2</i>	105
LA VENTILATION « FROIDE »	106
SYMPTÔMES OBSERVABLES SUR LES PLANTS	107
COMMENT ÉVITER LA VENTILATION FROIDE	107
BRULURE MARGINALE DE LA TOMATE	108
CONDUITE CLIMATIQUE AU PRINTEMPS	109
QUELQUES CONSEILS POUR AMOINDRIR LE STRESS HYDRIQUE	110
CONDUITE CLIMATIQUE PAR TEMPS CHAUD	111
ÉVITER LA CONDENSATION SUR LES PLANTES	114
CONDUITE CLIMATIQUE PAR TEMPS PLUVIEUX	115
5.4 LE CONTRÔLE DU CO ₂	116
STRATEGIE D'ENRICHISSEMENT CARBONE	116
STRATEGIE D'ENRICHISSEMENT EN FONCTION DES SAISONS	117
<i>Tableau 5.2</i>	118
CHAPITRE 6	119
NUTRITION MINÉRALE ET CONDUITE DE L'IRRIGATION	119
6.1 ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET SOLUTIONS NUTRITIVES	119
CONDUITE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (CE)	120
<i>Tableau 6.1</i>	121
<i>Tableau 6.2</i>	122
<i>Tableau 6.3</i>	123
<i>Tableau 6.4</i>	124
6.2 CONDUITE DE L'IRRIGATION	124
ARROSER EN FONCTION DE LA SOMMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE (SRG)	124
<i>Figure 6.1</i>	125
PRINCIPES DE BASE D'UNE BONNE STRATEGIE D'IRRIGATION	126
PÉRIODE DE REMOILLAGE	126
PÉRIODE ACTIVE	127
PÉRIODE DE RESSUYAGE	127
PÉRIODE DE NUIT	128
STRATEGIE D'IRRIGATION EN ETE	128
<i>Figure 6.2</i>	129
DÉTAILS DE LA STRATÉGIE D'ARROSAGE	129
GESTION DE LA CE	130
ADAPTER LA CONDUITE DE L'IRRIGATION EN FONCTION DE L'EQUILIBRE DES PLANTS	132
ADAPTER LA CONDUITE DE L'IRRIGATION EN DEBUT ET EN FIN DE SAISON	132

ADAPTER LA CONDUITE DE L'IRRIGATION POUR UNE REPRISE RACINAIRE.....	134
ADAPTER LA CONDUITE DE L'IRRIGATION EN CAS DE CARENCE MINÉRALE.....	135
CARENCE FER-MANGANÈSE.....	135
CARENCE EN MAGNÉSIUM.....	136
6.3 CONDUITE DU PH.....	137
INFLUENCE DU PH SUR LA POURRITURE DES RACINES.....	138
6.4 RECYCLAGE DES SOLUTIONS NUTRITIVES	139
Figure 6.3.....	140
ÉVALUER LE VOLUME DES EFFLUENTS.....	141
Figure 6.4.....	141
METHODES DE DESINFECTION	142
THERMODÉSINFECTION	142
IRRADIATION AUX RAYONS ULTRAVIOLETS	142
OZONISATION.....	142
CHLORATION.....	143
BIOFILTRATION	143
INFLUENCE SUR LA NUTRITION MINÉRALE	144
BIOFILTRATION AVEC UN MARAIS ARTIFICIEL	145
Figure 6.5.....	146
Figure 6.6.....	146
DIMENSION D'UN MARAIS FILTRANT	147
ÉLÉMENTS CONSTITUANTS D'UN MARAIS FILTRANT	147
CHAPITRE 7	149
CULTURE AVEC ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL.....	149
7.1 ASPECTS ÉCONOMIQUES ET AGRONOMIQUES	149
FACTEURS ÉCONOMIQUES.....	149
FACTEURS AGRONOMIQUES	151
Figure 7.1.....	151
7.2 FACTEURS DE RÉUSSITE.....	152
Figure 7.2.....	153
COMBIEN DE LAMPES DOIT-ON INSTALLER ?	153
NOMBRE D'HEURES D'ÉCLAIRAGE	154
Tableau 7.1	155
GESTION DE LA PHOTOPÉRIODE	155
7.3 CONDUITE DE CULTURE AVEC L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL	157
CHARGE EN FRUITS ET ÉQUILIBRE	157
Tableau 7.2	158
TEMPÉRATURE EXTERIEURE ET OUVERTURE DES LAMPES.....	158
EFFEUILLAGE	159
7.4 CONDUITE CLIMATIQUE ET AJUSTEMENTS DES RÉGLAGES AVEC L'UTILISATION DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL.....	159
VENTILATION AVEC UNE TEMPÉRATURE EXTERIEURE TRÈS FROIDE.....	159

Figure 7.3.....	160
GESTION DES ECRANS THERMIQUES	160
TUBES DE CROISSANCE ET TUYAUX DE CHAUFFAGE AU SOL	161
Figure 7.4.....	161
7.5 ÉVALUATION DU RENDEMENT AVEC ÉCLAIRAGE D'APPOINT	162
Figure 7.5.....	162
ESTIMATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION AVEC ET SANS HPS	163
Tableau 7.3.....	164
7.6 CONDUITE DE LA NUTRITION MINÉRALE ET DE L'IRRIGATION	164
7.7 LE SAVOIR-FAIRE	165
CHAPITRE 8	166
CULTURE BIOLOGIQUE	166
QU'EST-CE QUE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ?	166
COMMENT S'Y CONFORMER ?	166
8.1 CULTURE EN PLEIN SOL OU HORS-SOL ?	166
PLEIN SOL	167
AVANTAGES.....	167
INCONVÉNIENTS	167
HORS-SOL	168
AVANTAGES.....	168
INCONVÉNIENTS	168
8.2 AVANT DE CONSTRUIRE OU DE PLANTER... ..	168
8.3 LA CULTURE BIOLOGIQUE EN SERRE.....	171
CARACTERISTIQUES SOUHAITABLES DU SOL	171
ANALYSES.....	171
CULTURE HORS-SOL	173
MISE EN PLACE DE LA CULTURE.....	175
PLEIN SOL	175
HORS-SOL.....	176
IRRIGATION	176
COUVRIR LE SOL OU LE DESSUS DES BACS.....	177
LE GREFFAGE DES PLANTS, UNE NECESSITE !	177
LA FERTILISATION BIOLOGIQUE DE LA TOMATE	178
BESOINS NUTRITIFS DE LA TOMATE.....	178
CHOIX DES ENGRAIS ET COMPOSTS.....	179
FAIRE SON COMPOST OU L'ACHETER ?	180
PROGRAMME DE FERTILISATION POUR LA TOMATE	180
APPLICATION DES ENGRAIS ET COMPOSTS	182
SUIVI DE LA FERTILISATION	183
STIMULER L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL OU DU MILIEU DE CULTURE	184
8.4 PROBLÈMES ET SITUATIONS FRÉQUEMMENT RENCONTRÉS	186
QUELQUES AUTRES IDÉES À EXPLORER.....	188
CHAPITRE 9	189
QUALITÉ ET ANOMALIES PHYSIOLOGIQUES DE LA TOMATE.....	189

9.1 OPTIMISER LA QUALITÉ DES FRUITS	189
UNE TOMATE DE QUALITE, CE N'EST PAS LE FRUIT DU HASARD !	189
QUELS SONT LES FACTEURS DE PRODUCTION QUI INFLUENCENT LA QUALITÉ.....	189
LE TAUX DE MATIÈRE SÈCHE COMME FACTEUR DÉTERMINANT DE LA QUALITÉ.....	190
MAINTENIR LA QUALITE DES FRUITS JUSQU'A LA DERNIERE RECOLTE.....	192
FACTEURS QUI FAVORISENT LE GROSSISSEMENT DES FRUITS EN FIN DE CULTURE	193
AMELIORER LE CALIBRE DES FRUITS	194
9.2 LES DÉFAUTS DE QUALITÉ LES PLUS COURANTS EN SERRE	195
LES CAUSES	195
LE CALCIUM ET LA PLANTE.....	196
MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES	196
MATURATION INEGALE	197
LES CAUSES	199
MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES	200
MICROFENDILLEMENT, MICROFISSURES OU « RUSSETING »	201
LES CAUSES	201
FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE MICROFENDILLEMENT	202
FENDILLEMENT	203
LES CAUSES	203
FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE FENDILLEMENT	203
MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES	204
LES CAUSES	205
FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE POINTS DORÉS	205
FRUITS ANGULAIRES OU « CARRES »	206
LES CAUSES	206
FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE FRUITS ANGULAIRES	207
MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES	207
FRUITS « POINTUS ».....	208
LES CAUSES	208
MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES	208
AUTRES ANOMALIES PHYSIOLOGIQUES QUI REDUISENT LA QUALITE DE LA TOMATE.....	209
INSOLATION OU COUP DE SOLEIL	209
TACHES BRUNES	209
FRUITS QUI RAMOLLISSENT RAPIDEMENT APRÈS LA RÉCOLTE.....	210
FRUITS IMMATURES QUI TOMBENT	211
QU'EST-CE QUI EXPLIQUE LA CHUTE DE FRUITS.....	212
CONDITIONS CULTURALES POUVANT CAUSER LA CHUTE DES TOMATES.....	213
JAUNISSEMENT DU CALICE.....	214
CHAPITRE 10	216
TRAVAIL EN SERRE	216
10.1 ORGANISATION DU TRAVAIL	216
CARACTERISTIQUES DU TRAVAIL EN SERRE	216
SUIVI DU TRAVAIL	218

10.2	ENTRETIEN DES PLANTS DE TOMATE	219
	ENROULER ET CLIPSER.....	220
	ÉDRAGEONNER	220
	TAILLER LES BOUQUETS ET POSER DES SUPPORTS	220
	EFFEUILLER.....	221
	RÉCOLTER.....	222
	DESCENDRE LES PLANTS	222
	<i>Figure 10.1</i>	223
10.3	INDICATEURS DE PERFORMANCE DU TRAVAIL	223
	EFFICACITÉ DU TRAVAIL ET VITESSE D'EXÉCUTION.....	224
	<i>Tableau 10.1</i>	226
ANNEXE 1		227
	GREFFAGE DE LA TOMATE.....	227
ANNEXE 2		236
	MÉTHODOLOGIE TOM'POUSSE.....	236
	SÉLECTION DES PLANTS	236
	LES MESURES SUR LA PLANTE	237
	2- HAUTEUR DE LA FLORAISON	238
	3- STADE DE NOUAISON ET VITESSE DE NOUAISON (CALCUL)	238
	EXEMPLES SUR LA GRAPPE N ^o 1 AVEC 5 FRUITS TOTAUX LAISSES SUR LA GRAPPE G SELON [G-1 = 1-1 = 0 + N]	239
	4- DEVELOPPEMENT EN FRUITS PAR SEMAINE.....	240
	5- NOMBRE DE FRUITS TOTAUX PAR PLANT	241
	6- STADE DE RECOLTE.....	241
	EXEMPLES SUR LA GRAPPE NO 3 AVEC 5 FRUITS TOTAUX LAISSES SUR LA GRAPPE G SELON [G-1 = 3-1 = 2 + R]	241
	REGIE D'IRRIGATION	243
	COMMENT PRENDRE LES MESURES SUR UN PLANT DE TOMATE?	245
ANNEXE 3		250
	ENTRETIEN ET NETTOYAGE DES SERRES	250
	LA SERRE.....	250
	LES EQUIPEMENTS ET LES OUTILS DE PRODUCTION.....	251
	SYSTEME DE CHAUFFAGE ET ECONOMIE D'ENERGIE	252
	LA STATION DE POMPAGE, LES SONDES ET L'ORDINATEUR DE CONTROLE	252
	LE RESEAU DE DISTRIBUTION	253
ANNEXE 4		254
	COMPRENDRE L'HYGROMETRIE EN SERRE	254
	LE CYCLE DE L'EAU DANS UNE SERRE.....	254
	LE DEFICIT HYDRIQUE.....	254
	<i>Tableau 1.</i>	255
	<i>Tableau 2.</i>	256
	LA GESTION DE L'HYGROMETRIE EN SERRE.....	256
	<i>Figure 1.</i>	257
	<i>Tableau 3.</i>	258
	<i>Tableau 4.</i>	259

Figure 2.....	261
Figure 3.....	263
PERTE DE LUMIERE CAUSEE PAR LA FORMATION DE GOUTTES D'EAU SUR LES PLASTIQUES DE SERRE.....	264
Figure 4.....	265
ANNEXE 5	266
LE GAZ CARBONIQUE EN SERRE	266
QU'EST-CE QUE LE CO ₂ ?	266
QU'EST-CE QUE LA PHOTOSYNTHESE ?	266
QUEL ROLE LE CO ₂ JOUE-T-IL DURANT LA PHOTOSYNTHESE ?	267
DE QUELLE FAÇON LE CO ₂ EST-IL ABSORBE PAR LA PLANTE ?	267
Figure 1 :	268
FACTEURS FAVORISANT L'OUVERTURE DES STOMATES	269
FACTEURS FAVORISANT LA FERMETURE DES STOMATES.....	269
VARIATION DES NIVEAUX DE CO ₂ DANS UNE SERRE	270
Figure 2.....	271
Figure 3.....	272
EFFET DU CO ₂ SUR UNE CULTURE DE TOMATE EN SERRE	272
FAIBLES NIVEAUX DE CO ₂	272
Figure 4.....	273
HAUTS NIVEAUX DE CO ₂	273
ENRICHISSEMENT AVEC DU CO ₂ PUR OU OBTENU PAR COMBUSTION ?	275
LE CO ₂ PUR.....	275
LE CO ₂ OBTENU PAR COMBUSTION	276
Tableau 1 :	277
ENRICHISSEMENT CARBONE AVEC UN BRULEUR LOCALISE.....	277
ENRICHISSEMENT CARBONE A PARTIR DE LA RECUPERATION DES FUMÉES DE COMBUSTION D'UN SYSTEME DE CHAUFFAGE CENTRAL	278
LA DISTRIBUTION DU CO ₂ DANS LA SERRE	280
DISTRIBUTION A PARTIR D'UN SYSTEME DE RECUPERATION DES FUMÉES DE COMBUSTION	281
DISTRIBUTION DU CO ₂ LIQUIDE.....	282
DISTRIBUTION DU CO ₂ OBTENU AVEC UN BRULEUR.....	283
LA MESURE DU CO ₂ DANS LA SERRE	283
LE CONTROLE DU CO ₂	284

AVANT-PROPOS

En janvier 2014, dans le cadre du programme d'appui financier aux regroupements et aux associations de producteurs désignés (MAPAQ), le Syndicat des producteurs en serres du Québec (SPSQ) a mandaté Agrisys consultants inc. pour la réalisation d'un guide de culture sur la production de la tomate de serre au Québec.

Au cours des années 2003 à 2009, j'ai collaboré avec des conseillers du MAPAQ à mettre sur pied le projet Tom'Pousse et à faire le suivi technique auprès des producteurs participants. L'idée originale de Tom'Pousse est de Liette Lambert, agr., MAPAQ. Les autres conseillers du MAPAQ qui ont participé à Tom'Pousse sont : André Carrier, agr., M.Sc., Jacques Painchaud, agr., M.Sc., Mélissa Poulin, agr., M.Sc., Julie Marcoux, technicienne et Fernand Drolet, agr. Le projet Tom'Pousse a contribué à introduire auprès des producteurs en serre du Québec une méthodologie de suivi de la tomate qui soutient la prise de décisions basées sur le « langage des plants » pour la conduite de la culture, du climat et de l'irrigation. Au cours de ces 7 années, j'ai préparé un peu plus de 150 bulletins contenant de l'information technique sur la culture de la tomate sous serre au Québec.

Dans le contexte du présent guide de culture, le mandat qui m'a été confié par le SPSQ était de réviser et d'actualiser toute l'information technique produite dans le projet Tom'Pousse et de la réunir en un seul document. De plus, le guide de culture devait contenir les toutes dernières innovations technologiques pertinentes et des sections couvrant la culture de la tomate avec éclairage artificiel, la culture biologique et le travail en serre.

Bonne culture de tomates!

Québec, mars 2015

Gilles Tucotte

CHAPITRE 1

CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES DE LA TOMATE

1.1 EXIGENCES CLIMATIQUES DE LA TOMATE

La tomate est une espèce peu exigeante qui peut supporter des températures minimales et maximales de 5 °C et de 35 °C pendant quelques heures. Le régime thermique optimal est de 18 à 24 °C le jour et de 16 à 20 °C la nuit. L'écart entre les températures moyennes jour/nuit devrait être de 1 à 4 °C. Une température inférieure à 10 °C va ralentir, voire bloquer la croissance et le développement. Si l'on considère la température moyenne sur une période de 24 heures ($T^{\circ} 24 \text{ h}$), la plage optimale se situe entre 17 et 22 °C. En dehors de cette zone de confort, la productivité et la qualité des fruits de la tomate sont fortement affectées. Pour l'hygrométrie, l'optimum se situe entre 65 et 80 %. Un environnement trop humide entraîne des problèmes de maladies fongiques et de mauvaise fécondation des fleurs. La tomate est aussi très sensible aux conditions trop sèches. Un excès ou un manque d'humidité influencera fortement la productivité de la culture.

Pour produire régulièrement, la tomate exige une grande quantité de lumière. En serre sous un climat tempéré, la tomate se développe plus rapidement en été lorsque la durée du jour est de 17 à 18 h, comparativement à l'automne où la durée du jour diminue à 12 h et moins. Un jeune plant qui ne porte pas encore de fruits a besoin d'une sommation du rayonnement global (SRG) quotidienne d'environ 125 J/cm² pour assurer au minimum sa croissance végétative. Pour la nouaison du premier bouquet (grappe), le besoin minimal en lumière augmente à environ 250 J/cm². Par la suite, s'ajoute un autre 125 J/cm² par bouquet avec fruits noués. Un plant de tomate (type charnu) de 6 bouquets avec des fruits a besoin de recevoir environ 875 J/cm² par jour pour maintenir à la fois la croissance des parties végétatives et reproductives. Cette quantité de rayonnement solaire global correspond aux conditions des mois de mars à octobre.

L'arrosage demande beaucoup de précision, car les racines sont fragiles. Les racines de la tomate ont autant besoin d'eau que d'air pour bien se développer et rester actives. La surabondance ou le manque d'eau peut causer un désordre physiologique. Il est donc important de choisir un substrat de culture qui possède à la fois une bonne capacité de rétention en eau et d'aération.

L'enrichissement carboné n'est pas une pratique vitale pour la tomate, mais il est essentiel pour obtenir une bonne productivité. En complément à la lumière, l'idéal c'est de maintenir une concentration minimale autour de 400 ppm. En période d'enrichissement, il n'est pas nécessaire d'aller au-delà de 1 000 ppm.

Au Québec avec un calendrier de production standard, il n'est pas nécessaire d'utiliser un supplément d'éclairage artificiel. Par contre, si l'on désire récolter pendant les mois d'hiver il est essentiel d'utiliser de l'éclairage d'appoint. L'intensité du rayonnement photosynthétique optimale se situe entre 130 et 170 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ et la photopériode quotidienne maximale est de 18 h pendant les mois de novembre, décembre et janvier.

Floraison et fructification

Les fleurs de tomate se développent sur une inflorescence que l'on nomme couramment grappe ou bouquet. La fleur est hermaphrodite, autofertile et ne produit pas de nectar. Le calice compte cinq sépales verts. Ce calice est persistant après la fécondation et subsiste au sommet du fruit. La corolle compte cinq pétales d'un jaune vif, soudés à la base et formant une étoile à cinq pointes. Les étamines au nombre de cinq sont soudées et forment un tube fermé autour du pistil. Celui-ci est formé par deux carpelles soudés qui forment l'ovaire. Le mouvement de la fleur suffit pour faire tomber le pollen des étamines sur le stigmate. Lorsque le pollen atteint l'ovaire à la base de la fleur, la fécondation et la fructification se font. La pollinisation peut être faite par vibration des inflorescences avec un vibreur électrique, ou encore en frappant les ficelles de tuteurage des plants, mais généralement dans les serres on utilise des bourdons. Les bourdons se suspendent aux fleurs de tomate en accrochant leurs pièces buccales sur les étamines et ils produisent une vibration parfaite pour libérer le pollen. Les morsures faites par les bourdons laissent des marques visibles sur les fleurs. Ceci permet au producteur d'évaluer le taux de fleurs pollinisées.

L'initiation des inflorescences se fait 10 à 15 jours avant qu'elles ne soient visibles à l'œil nu. Selon la saison, ça demande entre 10 et 15 jours pour que s'ouvre la première fleur. Entre 15 et 25 °C, la libération du pollen, sa germination et la croissance du tube pollinique se font normalement. En dehors de cette zone de confort, le pollen peut être stérile ou de mauvaise qualité ce qui cause des défauts de fécondation. Le succès de la fécondation dépend de la qualité du pollen et de la forme de la fleur. Les fruits qui contiennent davantage de graines ont un potentiel de calibre plus élevé et une plus belle forme. Après la fécondation, l'ovaire devient le fruit, on parle souvent de nouaison. Le développement du fruit se déroule en 3 phases :

La phase 1 dure autour de 15 jours et se caractérise par la division intense des cellules. C'est dans cette phase que se détermine le potentiel de croissance du fruit selon le nombre de cellules formées.

La phase 2, c'est l'étape de croissance rapide du fruit. Le fruit passe de la grosseur d'un petit pois à sa grosseur quasi finale, soit le stade vert mature. C'est la phase du grossissement des cellules. Selon les conditions climatiques et l'équilibre génératif/végétatif, c'est là que le potentiel de qualité généré dans la première étape va plus ou moins se réaliser. C'est aussi pendant cette phase que se fait l'accumulation des sucres dans les fruits. Elle dure entre 30 et 35 jours.

La phase 3, c'est la phase de maturation. C'est la phase où se transforme le fruit vert mature en tomate rouge prête à être consommée. C'est l'étape où se déroulent toutes les transformations biochimiques à l'intérieur du fruit qui déterminent les caractéristiques gustatives de la tomate. Selon les conditions climatiques, ça prend de 6 à 10 semaines pour obtenir un fruit mature à partir de la nouaison.

Composition d'un plant de tomate et valeur nutritionnelle

Un plant de tomate est composé d'eau (entre 93 et 95 %) et de matière sèche (entre 5 et 7 %). La figure qui suit donne le pourcentage des éléments qui composent le 5 à 7 % de matière sèche. On peut y voir que 96 % de la matière sèche est composée par l'oxygène, le carbone et l'hydrogène. L'eau et le gaz carbonique de l'air contribuent donc de manière importante à la composition de la tomate. Les autres éléments minéraux ne comptent que pour 4 %.

Oxygène	45%	} 96 % (base sèche)
Carbone	45%	
Hydrogène	6%	
Azote	1,5%	
Calcium	0,5%	
Phosphore	0,2%	
Potassium	1%	
Soufre	0,1%	
Chlore	0,01%	
Magnésium	0,2%	
Fer	0,01%	
Manganèse	0,005%	
Cuivre	0,0006%	
Bore	0,002%	
Zinc	0,002%	

La tomate est l'un des aliments les plus consommés dans le monde. Au sens botanique, la tomate est un fruit, mais elle est communément considérée comme un légume. C'est un aliment de choix pour la santé. Pauvre en calories, elle renferme beaucoup d'antioxydants : carotènes, vitamine C, vitamine E, lycopène et polyphénols qui jouent un rôle protecteur et diminuent le risque de certains cancers (tableau 1.1).

Tableau 1.1 Valeur nutritionnelle moyenne pour une portion de 100 g de tomate¹.

	Tomate	% Valeur quotidienne
Énergie (kcal)	18,0	1
Eau (g)	94,5	-
Fibres (g)	1,2	5
Composants et minéraux		
Glucides (g)	2,6	-
Lipides (g)	0,2	-
Protéines (g)	2,1	-
Calcium (mg)	10,0	1
Fer (mg)	0,3	1
Magnésium (mg)	11,0	3
Phosphore (mg)	24,0	2
Potassium (mg)	237,0	7
Sodium (mg)	5,0	0
Vitamines		
Acide folique (µg)	15,0	4
Provitamine A (caroténoïdes) (µg)	32,0	17
Vitamine B6 (mg)	0,1	4
Vitamine C (mg)	12,7	21
Vitamine E (tocophérol) (mg)	0,5	3
Vitamine K (µg)	7,9	10

Sources : Nutrition Data. <http://nutritiondata.self.com>

¹ Nutrition Data. <http://nutritiondata.self.com>

Les effets de la température sur la tomate de serre

La température joue un rôle déterminant sur le processus de photosynthèse, sur la respiration et sur le taux de développement de la tomate. La température influence aussi la répartition des photo-assimilats vers les organes végétatifs ou reproductifs. La température est donc le paramètre de base de la conduite climatique des serres. Afin de bien ajuster les consignes de température en vue de maximiser le rendement, une bonne compréhension de l'influence de la température sur la tomate est un atout essentiel.

L'effet de la température sur la plante peut être différent selon le niveau de rayonnement global, le gaz carbonique (CO_2) et du taux d'humidité. D'autres facteurs sont à considérer comme le stade de développement et la variété. Mais avant de voir l'interrelation de la température avec tous les autres paramètres, il est préférable de clarifier l'effet intrinsèque de la température. De plus, avant d'aborder ce sujet, il est nécessaire de diviser le concept global de température en différents éléments. Pourquoi? Parce qu'une hausse ou une baisse de la température peut provoquer une réponse différente selon que l'action est appliquée en début de journée, en mi-journée, en fin de journée ou pendant la nuit. De plus, étant donné que les systèmes informatiques de contrôle du climat permettent une conduite très pointue de la température, il est essentiel de faire une distinction entre la température de jour, la température de prénuite, la température de nuit, et finalement, la température moyenne sur 24 heures.

TEMPÉRATURE MOYENNE SUR 24 h

- Le principal effet est sur le taux de développement, c'est-à-dire la vitesse de formation de nouveaux organes : tige, feuilles et fleurs. Une hausse de la T° 24 h pendant une certaine période de temps provoque une augmentation de la vitesse d'apparition des nœuds, des feuilles et des nouvelles inflorescences. La relation entre la T° 24 h et la vitesse de croissance est presque linéaire ou légèrement curviligne. Dans une expérience avec 8 variétés différentes de tomates, la vitesse d'apparition des feuilles et des bouquets était 25 % plus rapide lorsque la T° 24 h était de 21 °C, par rapport à 18 °C².
- La T° 24 h agit sur la distribution des photo-assimilats (sucres résultant de la photosynthèse). Une hausse de la T° 24 h stimule l'envoi des sucres vers les fruits plutôt que vers les feuilles.

² Houter, B. et E. Nederhoff. 2006. Using Greenhouse Temperature for Plant Control. *Grower*, Vol 61 no 10, Nouvelle-Zélande.

- La T° 24 h affecte fortement la vitesse de croissance des fruits. Une hausse de la T° 24 h sur une période suffisamment longue, réduit la durée nouaison-récolte. Cependant, l'accélération de la croissance des fruits entraîne une diminution du calibre. Dans la même expérience que celle citée précédemment, la durée entre la nouaison et la récolte a été de 56 jours à une T° 24 h de 18°C , comparativement à 46 jours à 21°C ².
- Finalement, la T° 24 h influence le taux de respiration³. Lorsque la T° 24 h est proportionnellement trop élevée par rapport aux autres paramètres climatiques comme le rayonnement global et le CO_2 , le taux de respiration s'accroît. Il y aura alors moins de sucres disponibles pour la croissance. Cette situation entraîne une perte de la vigueur des plants, une réduction du calibre, donc une réduction de la production.

TEMPÉRATURE DE JOUR

- La température de jour (T° jour) a un effet important sur l'élongation des cellules, donc sur la longueur de la croissance. Une T° jour chaude produit des entrenœuds plus longs et des feuilles plus longues. Pour la même T° 24 h, en abaissant la T° jour, le plant sera plus trapu avec le même nombre de feuilles et de bouquets.
- Il y a une partie du jour à considérer avec une attention particulière, c'est la période qui suit le lever du soleil et qui se prolonge jusqu'à 9-10 h (selon la saison). Pendant cette période, une température trop chaude favorise l'étiollement. Pour une même température moyenne de jour, si la température est plus fraîche en début de journée et plus chaude par la suite, les plants seront plus compacts et la floraison sera meilleure.
- Globalement, la température optimale pour la photosynthèse est de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Au-delà de $27-28^{\circ}\text{C}$, s'il n'y a pas d'injection de gaz carbonique, le taux de photorespiration des plants s'accroît très rapidement alors que le taux de photosynthèse commence à diminuer. Donc, la fabrication des sucres est doublement réduite.

³ **La respiration végétale** : Toutes les plantes ont besoin de respirer. Il est vital pour les plantes d'absorber de l'oxygène pour réaliser l'oxydation des sucres pour la production d'énergie chimique. Au même moment, les plantes rejettent du gaz carbonique dans l'air. Ce processus se déroule la nuit comme le jour, on parle alors de photorespiration. Le jour, la photorespiration est masquée par la photosynthèse. Globalement, le bilan est positif, c'est-à-dire que la production de sucres (photosynthèse) est supérieure à leurs oxydations (photorespiration), sauf sous des conditions climatiques particulières.

TEMPÉRATURE DE PRÉNUIT

- La précision de prénuite s'applique à la période qui débute 60 à 90 minutes avant le coucher du soleil et qui se termine un peu après le début de la nuit. La température pendant cette période influence très fortement la répartition des sucres dans la plante. En fin de journée, les feuilles sont normalement « pleines » de sucres. Une baisse rapide et importante de la température de l'air provoque une allocation préférentielle des photo-assimilats vers les fruits. Ceci s'explique par le fait que les fruits se refroidissent plus lentement que les feuilles. Les photo-assimilats vont alors se « déplacer » préférentiellement dans la plante vers les organes les plus chauds. En partant des feuilles, ils sont transportés par les vaisseaux du phloème avec le flot de sève vers les fruits qui sont plus chauds.
- La technique d'abaissement rapide de la température à la fin de la journée, lorsqu'elle est bien réalisée, permet aux fruits d'aller chercher un supplément en sucres et en eau. Ceci explique le gain de calibre et l'accroissement de la production. La descente de la température de l'air se fait rapidement (4 °C/heure). La T° prénuite devrait être entre 14-16 °C, selon la T° jour qui précédait. La T° prénuite peut être maintenue pendant environ une heure et par la suite, la température de l'air est remontée progressivement (1 °C/heure). Pour la seconde partie de la nuit, la T° nuit peut être de 18-19 °C, afin de ne pas pénaliser la T° 24 h.

TEMPÉRATURE DE NUIT

- La T° nuit a très peu d'influence sur l'élongation cellulaire et la longueur de la croissance. Par contre, la T° nuit joue un rôle important sur la nouaison. Une T° nuit fraîche est essentielle pour obtenir une bonne nouaison. La température optimale pour la nouaison est autour de 18 °C $\pm$ 1 °C. Une T° nuit basse est aussi profitable pour la qualité de la floraison.
- La T° nuit est ajustée en tenant compte de la T° 24 h qui est requise pour maintenir la vigueur des plants de tomate. Pendant une vague de chaleur, il est souvent nécessaire d'abaisser la T° nuit le plus possible pour mieux contrôler la T° 24 h. De plus, la T° nuit est réglée selon l'écart à créer par rapport à la T° jour. Un écart important accentue le caractère génératif des plants. Peu ou pas d'écart encourage plutôt la croissance végétative.

- Une différence positive (T° jour $>$ T° nuit) fait augmenter la longueur des entrenœuds, alors qu'une différence négative donne un plant plus compact. En général, il n'y a pas d'avantage à maintenir la température de la serre trop élevée pendant la nuit, car plus la T° nuit est haute, plus le taux de respiration est rapide. Par contre, ça peut devenir utile d'augmenter la T° nuit lorsque les plants ont un excès de vigueur et de végétation.

En résumé, la conduite de la température est le principal outil du serriculteur pour ajuster le taux de développement en fonction du rayonnement solaire global et agir sur l'équilibre entre la biomasse végétative et générative.

- La T° 24 h agit principalement sur :
 - ✓ la vitesse de développement des nouvelles grappes de fleurs et des feuilles;
 - ✓ la vigueur;
 - ✓ la vitesse de croissance et de maturation des fruits;
 - ✓ l'équilibre génératif/végétatif.
- La T° jour agit principalement sur :
 - ✓ l'élongation des cellules;
 - ✓ la photosynthèse.
- La T° prénuît agit principalement sur :
 - ✓ la répartition des sucres vers les fruits.
- La T° nuit agit principalement sur :
 - ✓ la nouaison;
 - ✓ la respiration.
- L'écart de T° jour/nuit agit principalement sur :
 - ✓ la morphologie de plante (compacte/étiolée);
 - ✓ l'équilibre génératif/végétatif.

Besoin en CO_2 de la tomate

Les concentrations de gaz carbonique dans une serre sont en grande partie influencées par l'activité photosynthétique des plants et par le niveau de ventilation. Une bonne stratégie d'enrichissement

devrait être conçue en fonction de ces paramètres. Lorsque l'on parle du besoin en CO₂, on fait référence à la quantité dont les plants de tomate ont besoin pour maintenir un taux optimal de photosynthèse. Cependant, le taux de photosynthèse d'un ensemble de plants, c'est-à-dire la consommation en CO₂, ce n'est pas un processus que l'on peut mesurer facilement dans une serre. Étant donné cette contrainte, il faut se référer à la théorie pour bâtir une bonne stratégie d'enrichissement.

Généralement, la concentration désirée en CO₂ dans une serre est exprimée en partie par million (ppm). C'est aussi l'unité de mesure qui est utilisée dans les capteurs de CO₂ et les ordinateurs de contrôle climatique. Par contre lorsqu'il est question de la quantité de gaz carbonique qui est injectée dans une serre, il est plus facile d'utiliser une autre unité que les ppm. L'apport en CO₂ devrait être exprimé en utilisant les unités suivantes : g CO₂/m²/h ou en kg CO₂/ha/h. Pourquoi introduire une autre unité? C'est pour se rapprocher des plantes, car c'est avec les mêmes unités que l'on exprime le taux de photosynthèse.

Exemple de calcul pour comprendre les ppm et les kg CO₂/ha :

- 1 ppm CO₂ = 1,83 mg CO₂/1 m³ air
- Une serre de 4,5 m sous la gouttière a ± 7,5 m³ air/m² plancher

→ Pour passer de 380 ppm à 1 000 ppm, combien faut-il ajouter de CO₂?

- La différence est de 620 ppm
- 620 ppm x 1,83 mg CO₂/m³ x 7,5 m³/m² ÷ 1 000 g/kg = 8,5 g CO₂/m²
- **8,5 g CO₂/m² ou 85 kg CO₂/ha**

Pour une concentration en CO₂ de 380 ppm, soit la concentration atmosphérique normale, le taux de photosynthèse d'une culture de tomates pleinement développée est de l'ordre 10 kg CO₂/ha/h, pour un faible niveau d'ensoleillement⁴. Si l'ensoleillement est fort et que toutes les conditions climatiques sont favorables, ce taux peut augmenter jusqu'à 50 kg CO₂/ha/h (tableau 1.2). Si la serre est fermée, pour maintenir la concentration à 380 ppm, il faudra donc injecter la même quantité que celle qui a été consommée par les plantes, soit 50 kg CO₂/ha/h. D'autre part, lorsque la ventilation de la serre est activée, l'apport en CO₂ doit alors être augmenté de nouveau pour compenser la perte causée par l'accroissement du taux de renouvellement de l'air de la serre avec l'extérieur. Le tableau 1.2 présente

⁴ Nederhoff, E.M. 1996. *The A to Z guide for using CO₂*. HortResearch Publication, NZ.

Wacquant, C. 1995. *Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol*. CTIFL, France, 127 p.

ce qui se passe lorsque la concentration désirée dans la serre est augmentée à 500 et à 700 ppm. Dans un premier temps ce que l'on observe, c'est que le taux de photosynthèse maximale s'accroît avec l'augmentation du CO₂. Deuxièmement, plus la concentration désirée est élevée et plus les pertes reliées à la ventilation sont grandes, ce qui est dû à un effet de dilution plus grand avec l'air extérieur.

Tableau 1.2 Quantité approximative en CO₂ (kg CO₂/ha/h) nécessaire pour compenser le besoin d'une culture de tomates mature et maintenir la concentration désirée, selon le niveau d'ensoleillement et le taux de ventilation.

Concentration en CO ₂ désirée dans la serre	380 ppm		500 ppm		700 ppm	
Niveau ensoleillement						
Taux photosynthèse (kg CO ₂ /ha/h)	10	50	30	40-50	30	50-70
Perte en CO ₂ lorsqu'il n'y a pas de ventilation* (kg CO ₂ /ha/h)	0		10-20		20-30	
Apport en CO ₂ pour combler la consommation des plants (kg CO ₂ /ha/h)	10	50	40-50	50-70	50-60	70-100
Perte en CO ₂ lorsque la ventilation est active (moins de 10 %)	0-10		30-40		70-80	
Apport en CO ₂ pour combler la consommation et compenser la perte	10-20	50-60	60-70	70-90	100-110	120-150

Sources : Nederhoff, 1996 et Wacquant, 1995.

* Serre moyennement étanche (taux de renouvellement de 0,75 volume/h).

Type de tomate et cultivars

La liste des cultivars disponibles pour la culture en serre est très longue. En serre, on choisit des cultivars à croissance indéterminée dont la floraison est continue. Après la floraison du premier bouquet, les bouquets subséquents apparaissent après une séquence régulière de trois feuilles. En moyenne, un plant de tomate donne 0,7 à 1,0 bouquet chaque semaine. Sur tout un cycle de production annuel, un plant a la capacité de produire autour de 33 grappes, environ 100 feuilles et la tige peut atteindre près de 12 mètres.

Les grainetiers sont très actifs du côté de l'amélioration génétique des cultivars et chaque année plusieurs nouveautés s'ajoutent à la liste. Les cultivars diffèrent entre eux par la couleur, la forme et la taille des fruits, ainsi que par la robustesse du plant et la résistance aux maladies et aux virus. Pour faire le choix d'un type de tomate et d'un cultivar, il y a plusieurs facteurs à considérer :

- Le créneau de marché ciblé.
- La couleur, le calibre, la forme et l'épaisseur de la chair du fruit.
- La sensibilité aux maladies et aux virus.
- La vigueur de la plante (été).
- La précocité et la productivité totale.

On peut distinguer au moins 6 types de tomates qui sont couramment cultivés dans les serres du Québec :

- Tomate charnue ou « Beef » : fruit de calibre entre 180 à 300 g. De couleur rouge ou rose.
- Tomate en grappe : vendue en grappe de 4-5 fruits de calibre de 130 à 160 g. De couleur rouge.
- Tomate allongée ou Roma : vendue à l'unité ou en grappe de 6. Calibre de 90 à 110 g. De couleur rouge.
- Tomate cocktail : vendue à l'unité ou en grappe de 6 à 8 fruits. Calibre de 30 à 60 g. De couleur rouge, jaune et orange.
- Tomate cocktail allongé : vendue en grappe de 8 à 10 fruits. Calibre de 20 à 45 g. De couleur rouge.
- Tomate raisin. Petite tomate en forme de raisin allongé. Calibre de 8 à 15 g. De couleur rouge ou orange.
- Tomate cerise : vendue à l'unité ou en grappe de 10 à 14 fruits. Calibre de 10 à 25 g. De couleur rouge, orange, jaune ou rose.

CHAPITRE 2

COMPRENDRE LE LANGAGE DE LA TOMATE

2.1 VIGUEUR, LUMIÈRE ET RÉPARTITION DES PHOTO-ASSIMILATS

Le mot « vigueur » est le terme couramment utilisé pour décrire la croissance des plantes maraîchères cultivées en serre. Il fait référence à la croissance de la tête des plants, à la surface foliaire et à la grosseur de la tige. On dira d'un plant dont la tête est formée par une tige fine avec une faible surface foliaire qu'il manque de vigueur. À l'opposé, si la tige est épaisse et que la surface foliaire est grande, on dira que le plant a une bonne vigueur. On peut évaluer la vigueur de façon empirique, mais on peut aussi la mesurer. Le meilleur indicateur est le diamètre de la tige que l'on mesure à l'aide d'un pied à coulisse. Idéalement, on prend cette mesure à intervalle de 7 jours. La mesure du diamètre de la tige se fait au niveau du point de croissance de la semaine précédente. Pour la majorité des cultivars utilisés en serre, le diamètre de référence se situe entre 10 et 12 mm. Le tableau 2.1 présente les indicateurs que l'on peut observer sur les plants de tomate pour évaluer la vigueur.

Tableau 2.1 Caractéristiques de la vigueur chez la tomate.

VIGUEUR (= énergie)			
	Normale	Manque	Excès
Diamètre de la tige (Mesure vis-à-vis le premier bouquet ouvert)	11 à 12 mm	Moins de 10 mm	Plus de 12 mm
Floraison	0,8 à 1,5 grappe par semaine	² Avortement	Ralentissement
Tête	¹ Légèrement frisée et violacée	Mince, effilée	Épaisse avec coloration violacée Tête qui reste frisée
Racines		Réduites	Abondantes

¹ Si la tête des plants est légèrement violacée (sur 2,5 à 5 cm de longueur) ou qu'elle frise en fin de journée, c'est un bon signe que la plante a emmagasiné une réserve en sucres.

² Avortement (entre la 5^e et 8^e grappe en fleurs), surtout lorsque les grappes du bas du plant sont trop chargées parce que la conduite de culture est trop reproductive alors que le plant a besoin d'un climat végétatif, ou parce que le serriste a mal réparti la charge en fruits. Le plant fait alors des grappes trop fortes au départ et il aurait fallu chauffer davantage.

La température moyenne sur 24 heures ($T^{\circ} 24 \text{ h}$) dicte la vitesse de croissance des plantes. Elle est établie à partir de la vigueur des plantes et elle est ajustée en fonction du rayonnement solaire global. Par temps sombre, une $T^{\circ} 24 \text{ h}$ élevée entraîne une croissance rapide, mais aussi une tendance à l'étiollement. La vigueur peut être évaluée à partir de signes observables sur les plantes. Par exemple, une forte coloration pourpre au niveau des nœuds indique une trop grande vigueur. Ce signe révèle d'importantes réserves ou le stockage d'une grande quantité d'assimilats. Les réserves d'une plante ne sont utilisables que sur une courte période. Il faut donc réagir au jour le jour. Dans une telle situation, on peut transférer les sucres stockés en vitesse de croissance en augmentant la $T^{\circ} 24 \text{ h}$.

On peut utiliser le concept de l'offre et de la demande pour illustrer ce que représente chez les plantes la production d'énergie et les besoins pour la croissance. Les photo-assimilats produits quotidiennement illustrent l'offre. Ils sont requis pour la croissance et le développement de la plante. Les photo-assimilats sont transportés par la sève élaborée vers les différents organes qui représentent la demande : les jeunes feuilles, les nouvelles tiges, les fleurs et les fruits. La production de photo-assimilats, ou l'offre, est dépendante du rayonnement solaire, du taux de CO_2 et de la surface foliaire. L'ajustement de la demande à l'offre se fait par la régulation de la $T^{\circ} 24 \text{ h}$. Le processus décisionnel comporte trois étapes :

- Évaluer la vigueur.
- Analyser le rayonnement solaire reçu et à venir.
- Compter le nombre de fruits/ m^2 actuel et celui qui est projeté au cours des prochaines semaines.

Concrètement, lorsque les plants manquent de vigueur, la réduction de la $T^{\circ} 24 \text{ h}$ représente le moyen le plus rapide pour corriger la situation. À l'opposé, en présence d'un excès de vigueur, il faut augmenter la $T^{\circ} 24 \text{ h}$. La $T^{\circ} 24 \text{ h}$ influence principalement le taux de croissance, c'est-à-dire la vitesse d'apparition des nouveaux organes (feuilles et fleurs). Une $T^{\circ} 24 \text{ h}$ élevée favorise la répartition des photo-assimilats vers les fruits et accélère le processus de maturation des fruits. Elle fait aussi augmenter le taux de respiration, qui est en quelque sorte le processus de maintenance des plantes. À l'inverse de la photosynthèse, ce processus « brûle » les assimilats carbonés.

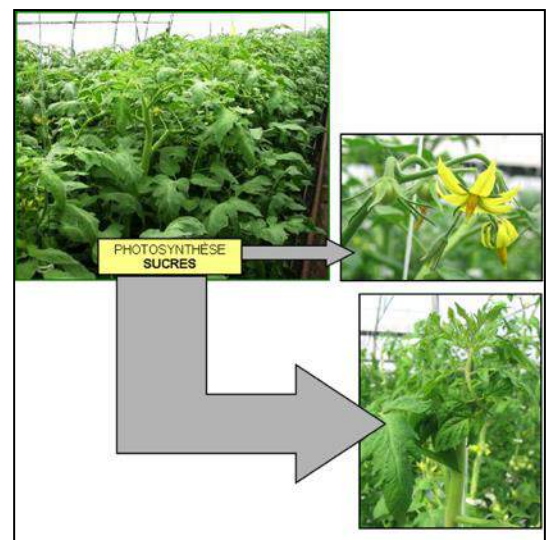
À plus long terme, la vigueur est aussi influencée par la quantité totale de fruits. Plus une plante porte de fruits, plus son besoin en lumière est grand pour maintenir une bonne vigueur. Pour une $T^{\circ} 24 \text{ h}$ donnée, si le nombre de fruits/ m^2 est grand et que le rayonnement solaire devient faible pendant

quelques jours, les plants vont s'affaiblir. D'un autre côté, une faible charge en fruits alors que l'ensoleillement est en hausse entraînera un excès de vigueur si la T° 24 h n'est pas modifiée.

Bien que la T° 24 h et la charge en fruits soient les principaux facteurs qui agissent sur la vigueur, le manque d'eau peut aussi causer une baisse importante de la vigueur. Il est donc important d'éviter les situations de stress, le plus souvent causées par des conditions de température et d'humidité extrêmes (hautes ou basses) ou une conduite de l'irrigation inadéquate. Le manque de vigueur réduit énormément le potentiel de fructification en étant responsable de la chute des fleurs. À l'autre extrême, un excès de vigueur favorise le développement des parties végétatives de la plante (tige, feuilles et racines) au détriment de la formation des parties reproductives. Dans les deux cas, la productivité est affectée.

2.2 CROISSANCE VÉGÉTATIVE ET CROISSANCE GÉNÉRATIVE

Chez la plante, la tige, les feuilles et les racines représentent la partie végétative alors que les fleurs et les fruits forment la partie générative. Pour produire de façon optimale, la plante a besoin d'être bien équilibrée. Les photo-assimilats servent autant à la croissance végétative qu'à la croissance générative. Le secret d'une bonne productivité est lié à la capacité du producteur à maximiser le transfert des sucres vers les organes génératifs. L'état d'équilibre d'une plante est un facteur qui influence fortement la distribution des produits de la photosynthèse. Une plante bien équilibrée va tout naturellement transférer le 2/3 des produits carbonés vers les fleurs et les fruits et seulement 1/3 vers les feuilles, les tiges et les racines. C'est difficile d'évaluer ce fractionnement, car il y a plusieurs paramètres comme la lumière, le climat de la serre, la méthode d'entretien des plants et la conduite de l'irrigation, qui peuvent les influencer. La figure 2.1 présente les principaux indicateurs visuels qui permettent de déterminer si le plant de tomate tend vers la croissance générative ou végétative.



PLANT GÉNÉRATIF	PLANT VÉGÉTATIF
FLORAISON ET FLEURS	
Rapide près de la tête (15 cm et moins de l'apex) Pétales complètement retournés Jaune intense 	Lente et loin de la tête (20 cm et plus) Légèrement blanche Grosses fleurs   Sépales collés
NOUAISON	
Nouaison facile et uniforme 	Nouaison lente et inégale   Fruits difformes
FEUILLES	
Vers le bas Courtes < 40 cm Dure Folioles espacées 	Étendues et droites Longues > 45 cm Tendre Folioles superposées Tâches de croissance 
FRUITS	
Forte charge Beaucoup de calibre Ronds sans défauts 6-7 grappes/plant  	Faible charge Petit calibre Plats, « carrés » ou difformes 8-9 grappes/plant  

Figure 2.1 Principaux indicateurs observables sur la tomate de l'équilibre génératif/végétatif.

« Plus un plant est végétatif, et plus les sucres produits pendant la photosynthèse sont envoyés vers les feuilles et la tige »

Il est donc impératif d'établir dès le début d'une culture un bon équilibre entre les fruits et la végétation. Si on attend après la nouaison de la 4^e-5^e grappe, il sera pratiquement impossible d'avoir une culture équilibrée et les rendements seront grandement affectés.

2.3 ADAPTER LA CONDUITE CLIMATIQUE À L'ÉQUILIBRE DE LA TOMATE

La vigueur et l'équilibre des plants de tomate sont le reflet de l'environnement dans lequel ils se développent. À l'exception de la lumière, à moins d'utiliser un éclairage d'appoint en hiver, tous les paramètres qui agissent sur l'environnement sont choisis par le producteur. Ainsi, le profil des plants est le résultat de la méthode de conduite du climat de la serre, de l'irrigation et des techniques de travail du serriste. Ce dernier vérifie quotidiennement la vigueur et ajuste la T° 24 h en conséquence. Il gère le climat en évitant toute situation qui pourrait stresser les plantes. La conduite climatique est également dirigée à l'aide d'autres indicateurs que l'on évalue sur une base hebdomadaire. Le tableau 2.2 présente une description des caractéristiques idéales d'un plant vigoureux et bien équilibré. En fonction de l'effet recherché, la gestion climatique sera orientée de façon à favoriser le caractère végétatif ou génératif (chapitre 5). L'objectif ultime étant d'obtenir des plants équilibrés, une initiation florale régulière et une production uniforme.

Comme règle générale, tous les facteurs qui contribuent à diminuer la pression racinaire⁵ rendent la tomate plus générative. Le tableau 2.3 présente brièvement comment modifier la conduite climatique en fonction de la vigueur et de l'équilibre des plants de tomate.

« Une plante que l'on stresse devient générative »

Voici quelques exemples de climat de serre qui favorisent le côté génératif de la tomate :

- Faible humidité, climat sec.
- Début de journée frais et sec.
- Beaucoup de ventilation et de chauffage.

⁵ La pression racinaire se crée lorsqu'une plante ne transpire pas ou très peu et qu'elle absorbe quand même de l'eau par ses racines. Cette situation entraîne une forte pression à l'intérieur des vaisseaux de la plante.

- Forte radiation solaire et chaleur.
- Grande différence de température entre le jour et la nuit.
- Période de prénuît froide.
- Arrosage qui débute tard et qui finit tôt, avec peu de drainage.
- Grande différence du contenu en eau du substrat de culture entre le jour et la nuit. Beaucoup de ressuyage ou d'assèchement entre le dernier arrosage et le premier de la journée suivante.
- Arroser peu souvent avec une CE élevée.
- Faible volume de substrat par plant.
- Grand nombre de fruits par plant avec peu de feuilles.

Tableau 2.2 Caractéristiques d'un plant de tomate vigoureux et bien équilibré.

FLEURS
– Uniformes sur la grappe ou sur le bouquet; – Grappe épanouie située de 12 à 18 cm (5 à 7 pouces) de l'apex; – 0,8 à 1 grappe par semaine en général mais peut varier de 0,5 (si peu de lumière) à 1,5 (si beaucoup de lumière); – Couleur des fleurs : jaune d'œuf; – Tige principale de la grappe de fleurs forte et placée à 45 ° par rapport à la tige du plant; – Longueur de la grappe : 3 à 5 cm (1,5 à 2 pouces); – Grappe nouvelle en colimaçon (roule vers le bas); – Sans fleur reine dans le bouquet (« king flower » : fleur dressée et trop grosse); – Sortie régulière des fleurs.
FEUILLES
– Longues, droites (40 à 45 cm soit 16 à 18 pouces pour feuilles matures); – Les folioles se recoupent; – Peu de gourmands; – Nombre varie selon la lumière et la densité de plantation (16 à 20 en été; 10 à 16 en hiver); s'il y a trop de feuilles, c'est du gaspillage car elles tirent de l'énergie inutilement (respiration). On enlève les feuilles jaunes du bas puisqu'elles sont non fonctionnelles; – Jeunes feuilles étalées, vert pâle et frisées le matin, devenant en fin de journée moins frisées et vert foncé (signe d'une accumulation de sucres); – Rayon jaune¹ (= tête vert pâle) au centre des jeunes feuilles le matin, qui verdit seulement en fin de journée.
TIGE
– Calibre uniforme durant la croissance; – Diamètre au point de croissance de la semaine précédente : entre 11 à 12 mm selon la variété, l'expérience et vos habitudes de culture. Règle générale, on parle de 11-11,5 mm (variétés végétatives) et 11,5-12 (variétés reproductives).
FRUITS
– De calibre égal et bien formés.

¹ Coloration vert pâle que l'on observe dans la zone de croissance d'un plant de tomate tête le matin (centre de la tête).

Tableau 2.3 Adaptation de la conduite climatique selon la vigueur et l'équilibre d'un plant de tomate.

BALANCE	VIGUEUR DES PLANTS	
	Manque	Excès
Plant reproductif	– Abaisser la T° moy 24 heures (de nuit comme de jour et en évitant de trop ventiler); – Créer un climat de serre végétatif; – Utiliser une stratégie d'irrigation végétative; – Maintenir des températures jour-nuit presque égales (ce qui nous donnera des plants plus trapus avec entrenoeuds courts); – Ombrager; – Éviter les pré-nuits.	– Augmenter la T° moy 24 heures; – Chauffer davantage la nuit en s'assurant que le plant augmente sa charge en fruits.
Plant végétatif	– Diminuer la T° moy 24 heures; – Créer un climat reproductif; – Arroser de façon reproductive; – Pratiquer de bons écarts de températures jour-nuit mais sans descente trop rapide de température (éviter les pré-nuits).	– Stimuler la transpiration, en chauffant et en ventilant davantage; – Effeuille dans le plant (et non en bas) surtout si la tête perd son caractère reproductif; – Faire des pré-nuits.

2.4 BOUQUET FLORAL (GRAPPE)

Le langage de la tomate s'exprime aussi dans la floraison. Dès la formation des bouquets, il est possible d'évaluer l'équilibre. Afin de bien décoder ce langage, voici les points particuliers à observer.

Grappe générative :

- Hampe florale forte et courte.
- Jeune grappe en forme de « colimaçon ».
- Fleurs qui s'ouvrent près de l'apex : 8 à 10 cm.
- Fleurs jaune foncé.
- Pas de grosses fleurs difformes; les sépales s'ouvrent facilement.
- Floraison progressive, sur le même bouquet (1 à 2 fleurs à la fois) et entre les bouquets.
- Nouaison rapide et facile.
- Angle entre la tige et la grappe entre 45° et 90°.
- Pas de feuilles sur la tige ou au bout de la grappe.



Grappes végétatives :



CHAPITRE 3

CALENDRIER DE PRODUCTION, PRÉPARATION DES JEUNES PLANTS ET MISE EN CULTURE

3.1 CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES DU QUÉBEC

Le rayonnement solaire est le facteur qui a la plus grande influence sur la productivité de la tomate. Cette culture demande beaucoup de lumière pour produire des fruits de première qualité de façon soutenue. Au Québec, les régions situées sous le 49^e degré de latitude reçoivent l'ensoleillement nécessaire pour satisfaire les exigences de cette plante. En prenant comme point de repère la ville de Québec, on peut comparer l'ensoleillement que l'on reçoit annuellement par rapport à d'autres régions où l'on produit de la tomate sous serres. Si on la compare aux Pays-Bas, la ville de Québec reçoit plus de rayonnement solaire (figure 3.1). Par contre, par rapport à l'Ontario, nous sommes désavantagés, car dans cette province, la majorité des serres sont établies autour et plus au sud du 43^e degré de latitude. Par rapport à la Colombie-Britannique, où les serres sont situées près du 49^e degré de latitude, notre situation est meilleure ou équivalente. Au Québec, la quantité de lumière reçue augmente à mesure que l'on se déplace vers le sud. De Québec à Montréal, le gain d'énergie solaire est de l'ordre de 5 et 7 %.

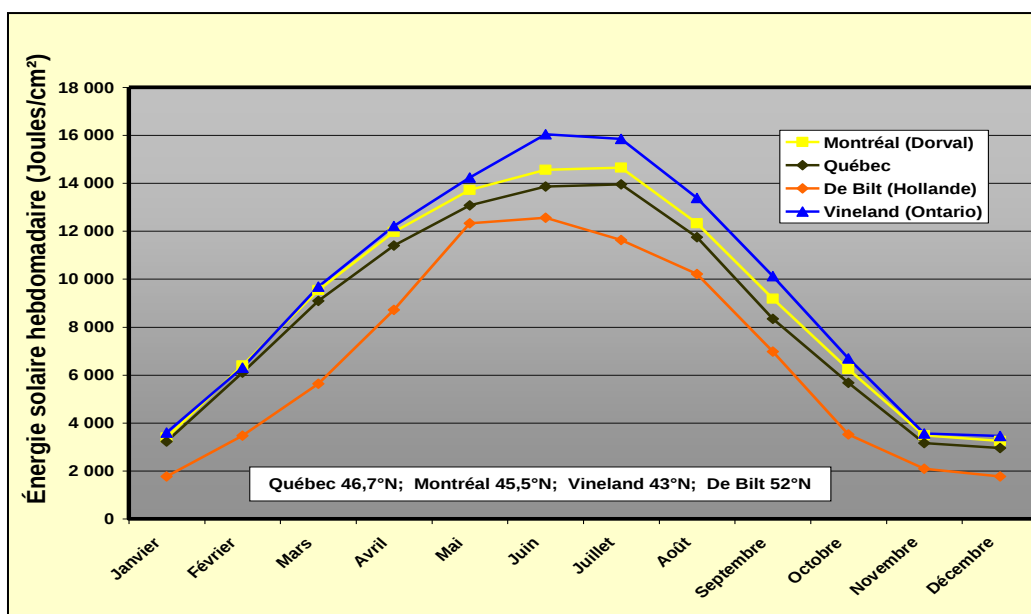


Figure 3.1 Rayonnement solaire global reçu par mois au Québec (villes de Québec et Montréal) par rapport à l'Ontario (région de Vineland) et la Hollande (ville de De Bilt).

Un climat de type nordique donne lieu à une consommation énergétique plus importante, car les serres doivent être chauffées pratiquement toute l'année. Cette particularité se répercute sur le coût de production, mais pas sur la capacité à produire. D'un autre côté, la tomate nécessite des nuits fraîches pour bien fleurir. La période la plus chaude de l'été n'est pas suffisamment longue et intense pour vraiment nuire à la productivité (figure 3.2).

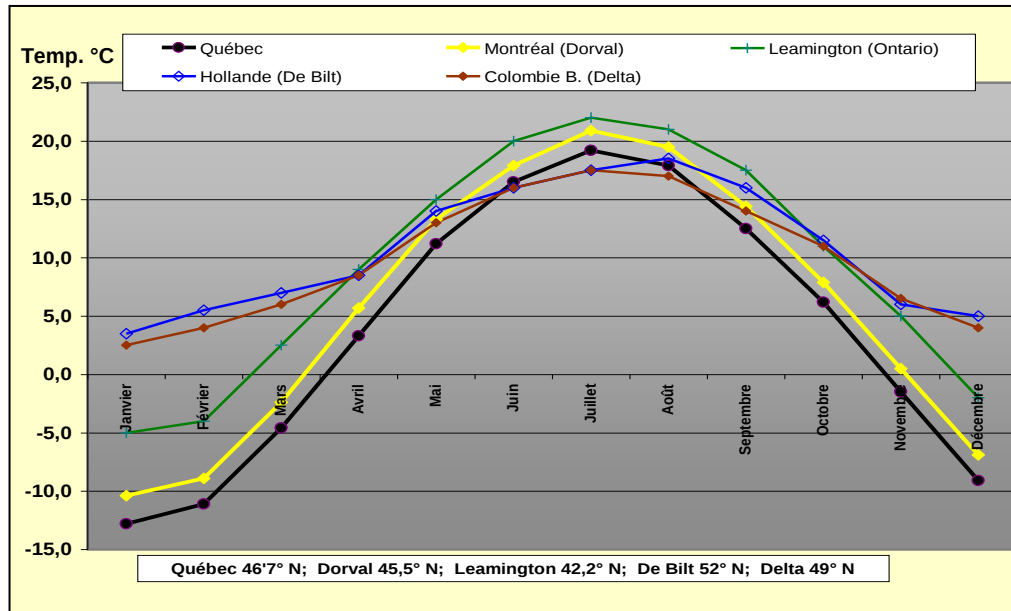


Figure 3.2 Moyenne de température mensuelle pour le Québec (villes de Québec et Montréal) par rapport à l'Ontario (région de Leamington), la Colombie-Britannique (région du Delta de Vancouver) et de la Hollande (ville de De Bilt).

3.2 CALENDRIER ET POTENTIEL DE PRODUCTION

La date de plantation la plus hâtive pour le Québec est la mi-décembre. Toutefois sous nos conditions climatiques, il est souvent plus avantageux de choisir une date de plantation un peu plus tardive, soit au mois de janvier. Comme le mois de décembre est souvent très sombre, le taux de croissance des plantes peut être très faible. L'impact sur la précocité de la première récolte est alors passablement réduit. En janvier, on commence à s'éloigner du solstice d'hiver. Il fait plus froid, mais le temps est plus clair. Une plantation en janvier est généralement plus profitable sur le plan économique, car elle permet

aussi une fin de production plus tardive en décembre, mois pendant lequel le prix de vente est habituellement fort intéressant. Plus tardivement, il est aussi possible de planter en février ou en mars. Le choix de la date de plantation se fait en fonction du marché ciblé et de la hauteur de la serre. Pour une plantation fin-décembre ou début-janvier, la récolte devrait débuter à la toute fin du mois de février et plus assurément au début du mois de mars.

Potentiel de production sous le climat québécois

Le rayonnement solaire c'est le facteur qui influence le plus la productivité des plantes en serre. La tomate est une plante qui demande beaucoup de lumière pour bien produire. Un plant de tomate en production a besoin d'un minimum de 875 J/cm² quotidiennement pour maintenir sa vigueur, sa croissance et sa productivité. Sur une base hebdomadaire, ceci représente de 6 125 J/cm². Ici, il est question de lumière solaire mesurée à l'extérieur de la serre et non pas de lumière mesurée au niveau des plants de tomate. Au Québec, on commence à recevoir cette quantité de rayonnement à partir de la fin-février, et ce, jusqu'à la mi-septembre (figure 3.1).

Au niveau de la température extérieure, la chaleur n'est pas un facteur limitant, sauf peut-être quelques jours en été (figure 3.2). Cependant, notre climat de type nordique est exigeant en chauffage. Il faut chauffer les serres pratiquement toute l'année.

COMMENT ÉVALUER LE POTENTIEL DE PRODUCTION?

Le point de départ, c'est le climat québécois. Deuxièmement, nous avons besoin de connaître le taux de transfert de l'énergie solaire en fruits de la tomate charnue. Plusieurs travaux de recherche réalisés ont permis de déterminer la règle suivante : **50 MJ/m² ou 5 000 J/cm² donne 1 à 1,3 kg/m² de tomates⁶**. Cette fois, cette quantité de rayonnement représente la quantité captée par la plante. En d'autres termes, c'est la lumière qui atteint les plants de tomate une fois que le soleil a traversé le recouvrement de la serre.

⁶ Plusieurs études ont été citées dans l'ouvrage : Spaargaren, I.J.J. 2001. Supplemental lighting for greenhouse crops. Hortilux Schröder B. V. et P. L. Systems inc. Heuvelink, E. 2008. *Biomass production and yield of tomato: physiology and simulation models*. Journée de séminaires sur la culture sous serre.

Pour faire notre évaluation, nous prendrons les valeurs suivantes :

- ✓ **5 000 J/cm² reçus par les plants donnent en moyenne 1,15 kg/m² de tomates**
- ✓ **Pour produire 1 g tomate, un plant doit recevoir 4,4 J/cm²**

Il y a plusieurs facteurs qui peuvent réduire la quantité de lumière qui va effectivement atteindre les plantes ou réduire la capacité d'un plant de tomate à transformer la radiation solaire en fruits :

- 1- Le facteur de transmission en lumière de la serre.
- 2- Le savoir-faire du producteur en conduite de culture.
- 3- L'enrichissement avec du gaz carbonique.
- 4- La qualité des équipements : système de contrôle informatique, bonne capacité d'aération de la serre et un bon système d'irrigation.
- 5- La variété et le type de culture.

Le facteur de transmission en lumière de la serre est sans doute le facteur le plus important à considérer. Mais c'est la sommation de ces 5 facteurs qui déterminent le potentiel de production d'une culture de tomates sous serre. Une serre d'excellente qualité dans les mains d'un chef de culture sans expérience pourrait avoir un facteur d'efficacité très bas, de l'ordre de 50 %, même si la serre avait un facteur de transmission de l'ordre de 75 %. Avec une serre dont la transmission lumineuse est de 70 % et un système de production qui serait efficace à 100 %, pour produire 1 g de tomate, il faut recevoir 6,3 joules/cm² (tableau 3.1). En fonction d'une quantité donnée en rayonnement solaire, le potentiel de production d'une culture est limité par la qualité des équipements et par le savoir-faire du producteur. La figure 3.3 montre comment le facteur d'efficacité influence le potentiel de production.

Tableau 3.1 Influence du taux d'efficacité à utiliser le rayonnement solaire reçu.

Efficacité à utiliser le rayonnement solaire reçu	Nombre de J/cm ² requis produire 1 g de tomate
70 %	6,3
65 %	6,8
60 %	7,4
55 %	8,0
50 %	12,6

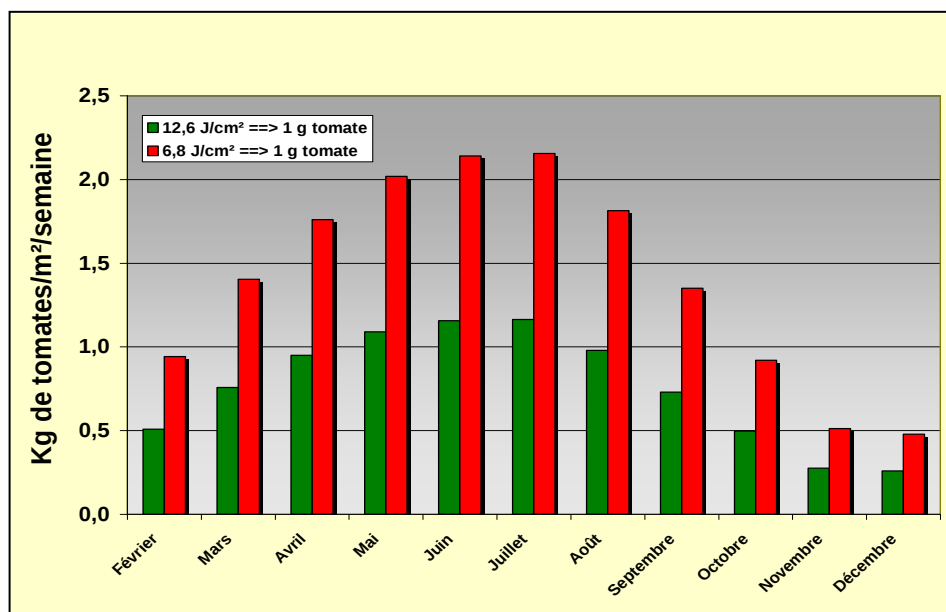


Figure 3.3 Rendement mensuel potentiel d'une culture de tomates dans la région de Montréal selon 2 facteurs d'efficacité à transformer le rayonnement solaire reçu en fruits (65 % et 50 %).

SIMULATION DU RENDEMENT ANNUEL

Afin de valider les valeurs retenues pour évaluer le potentiel de production, une simulation du rendement annuel dans différents contextes de production peut être faite. Les paramètres de la simulation sont :

- Région de production : Montréal
- Date de mise en serre des plants : 29 janvier

- Date de plantation : 8 février
- Date de première récolte : 15 avril
- Date d'étéage : 30 septembre
- Date de dernière récolte : 30 novembre
- 3 facteurs d'efficacité : 50 %, 60 % et 65 %. Le facteur 65 % pourrait représenter une bonne serre conduite par un producteur d'expérience.

Les résultats sont de 52,6 kg/m², 48,3 kg/m², 28,4 kg/m² pour 32-33 semaines de récolte (figure 3.4).

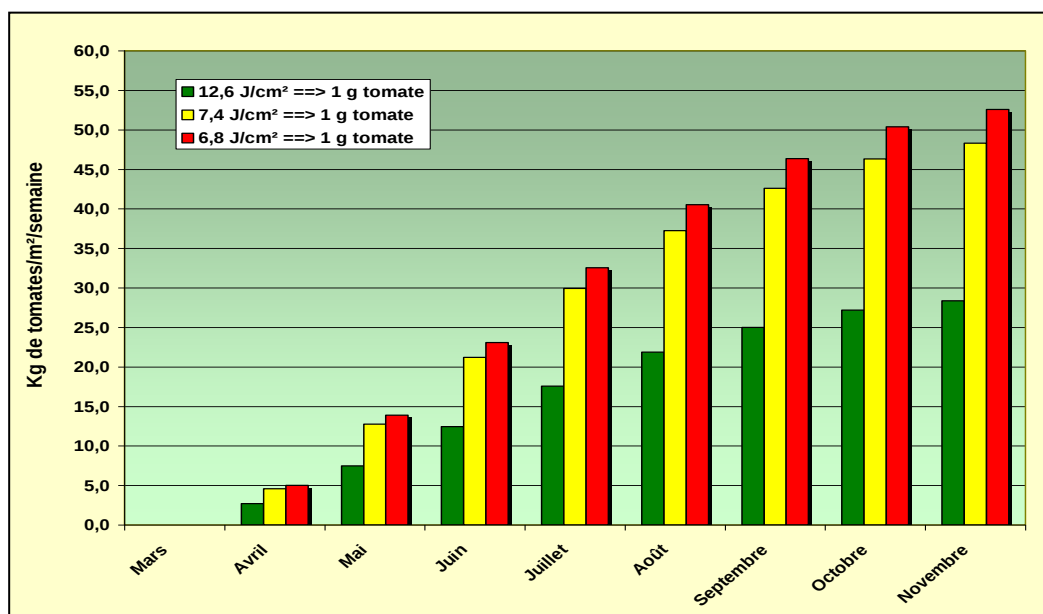


Figure 3.4 Simulation de rendement annuel pour une culture de tomate sous serre dans la région de Montréal pour 3 facteurs d'efficacité : 50 %, 60 % et 65 %.

Pour évaluer le plein potentiel d'une culture de tomates sous serre, il faut refaire une autre simulation, mais cette fois avec un calendrier de production plus long. Les paramètres de cette deuxième simulation sont :

- Région de production : Montréal
- Date de mise en serre des plants : 16 décembre
- Date de plantation : 2 janvier
- Date de première récolte : 9 mars
- Date d'étéage : 9 octobre
- Date de dernière récolte : 11 décembre

Avec un facteur d'efficacité de 70 %, **le résultat est de 65 kg/m²**. Est-ce exagéré? Au Québec, il y a des producteurs qui ont déjà obtenu des rendements au-dessus de 67 kg/m² (sans éclairage d'appoint). Pourrait-on en faire plus? En théorie oui, car l'efficacité d'un plant de tomate peut être de 1,3 kg pour 5 000 joules/cm² (1 g de tomate pour 5,5 joules/cm²). En utilisant cette dernière valeur, on pourrait obtenir avec le rayonnement global moyen de la région de Montréal au-delà de **70 kg/m²!!!** Est-ce possible? Ailleurs au Canada, la barrière des 75 kg/m² a été dépassée depuis le début des années 2000. Ce n'est donc pas impossible, mais ce n'est pas un seuil de production que l'on atteint aisément.

3.3 PRÉPARATION DES PLANTS DE TOMATE

Le producteur a le choix entre produire lui-même ses plants ou les acheter chez un propagateur. Dans les deux cas, il est important de connaître les caractéristiques d'un bon plant :

1. Le caractère génératif.
2. Une bonne vitesse de croissance.
3. Une bonne surface foliaire.
4. Des racines bien développées qui couvrent tout le volume du substrat.

Une température ambiante adéquate favorise la croissance générative des plantes. Une bonne vitesse de croissance donne un plant dont l'apex (tête) est bien dégagé des feuilles. Les entre-nœuds doivent être réguliers et longs, sans être étiolés. Pour obtenir une croissance uniforme, on cherche à créer des conditions de lumière et de chauffage identiques dans toute la serre pour que les plants puissent croître et se développer à la même vitesse. On veut des plants avec des feuilles bien déployées et d'un beau vert : ni trop pâle, ni trop foncé. Enfin, une conduite appropriée de l'irrigation va promouvoir un bon enracinement.

L'éclairage d'appoint constitue un atout pour les producteurs qui produisent leurs plants, surtout si le semis est réalisé au mois de novembre. Le niveau d'éclairement photosynthétique recommandé est de 50 à 70 $\mu\text{mol/m}^2\text{-s}$ (4 000 à 6 000 Lux). En hiver, la durée d'éclairement recommandée est de 18 heures par jour. La durée d'éclairement est ajustée selon le besoin des plants et la durée de l'ensoleillement saisonnier. L'enrichissement avec du CO₂ est aussi important. La concentration suggérée est de 500 à 700 ppm. On peut commencer l'enrichissement carboné dès que la première

feuille est bien déployée. Si le CO₂ provient d'un système de récupération des gaz de combustion, ou encore si l'on chauffe avec des fournaies placées dans les serres, c'est essentiel de s'assurer que la combustion du gaz naturel est optimale afin d'éviter un risque de production d'un gaz toxique tel que l'éthylène. Les jeunes plants sont très sensibles à l'éthylène. Une concentration aussi faible que 0,01 ppm cause des dommages.

Une bonne saison de production commence dans la pépinière. Un certain nombre de règles sont à respecter pour fabriquer des plants de bonne qualité. Trop souvent, les producteurs sous-estiment l'effet que peut avoir un plant de mauvaise qualité sur la production. Des plants faibles et étiolés n'ont pas le même potentiel de production que des plants vigoureux. Des plants qui sont trop végétatifs au départ ne donneront jamais autant de tomates que des plants bien équilibrés. Les conséquences d'un démarrage avec des plants de mauvaise qualité sont :

- ⇒ Les plants sont plus sensibles aux maladies (*Botrytis*) et aux insectes.
- ⇒ La première récolte est retardée.
- ⇒ Les fruits sont difformes sur les 2-3 premières grappes.
- ⇒ Les plants sont plus difficiles à équilibrer pendant toute la saison de culture.

Caractéristiques de plants désirées

- **L'uniformité.** On vise des plants de taille égale. Les conditions de chauffage et de lumière devraient donc être les mêmes pour tous (figure 3.5).
- **La vigueur et le caractère génératif.** Une bonne tige a un diamètre entre 6 et 8 mm dans sa partie la plus large. On veut des plants assez trapus avec des entre-nœuds courts (figure 3.6). La première grappe doit rester courte, fleurir facilement et être forte.
- **Le système racinaire.** Les jeunes plants ont besoin de racines saines et robustes. On retrouve ces racines à tous les niveaux des blocs ou des pots de propagation. C'est bon de retrouver des racines en dessous des blocs et des pots (figure 3.6).

- **Une bonne vitesse de croissance.** L'apex (tête) doit être bien au-dessus des feuilles, formant ainsi une pyramide. Lorsque la tête se trouve sous le niveau des feuilles, ceci signifie que la vitesse de croissance n'est pas assez rapide par rapport à la lumière reçue. À ce moment, il faut augmenter la T° 24 h pour accélérer la croissance. À l'opposé, lorsque la vitesse est trop grande (trop chaud) pour la lumière reçue, les plants vont s'affaiblir et s'étioler.
- **La surface foliaire.** Les plants doivent avoir 9 à 10 feuilles sous la première grappe. Les feuilles devraient être bien déployées, pas frisées et d'un beau vert : ni trop pâle, ni trop foncé. Les feuilles représentent l'usine de fabrication des sucres qui seront nécessaires pour la croissance.

Points de repère à connaître et à reconnaître

- Il faut semer au moins de 20 à 35 % de graines en extra pour pouvoir faire une sélection des plus beaux plants et obtenir une bonne uniformité.
- La germination des semences à une T° substrat de 25-26 °C prend de 48 à 72 heures.



Figure 3.5 Prise de vue chez un producteur spécialisé dans la production (Ontario Plant) de plants montrant l'uniformité des plants.

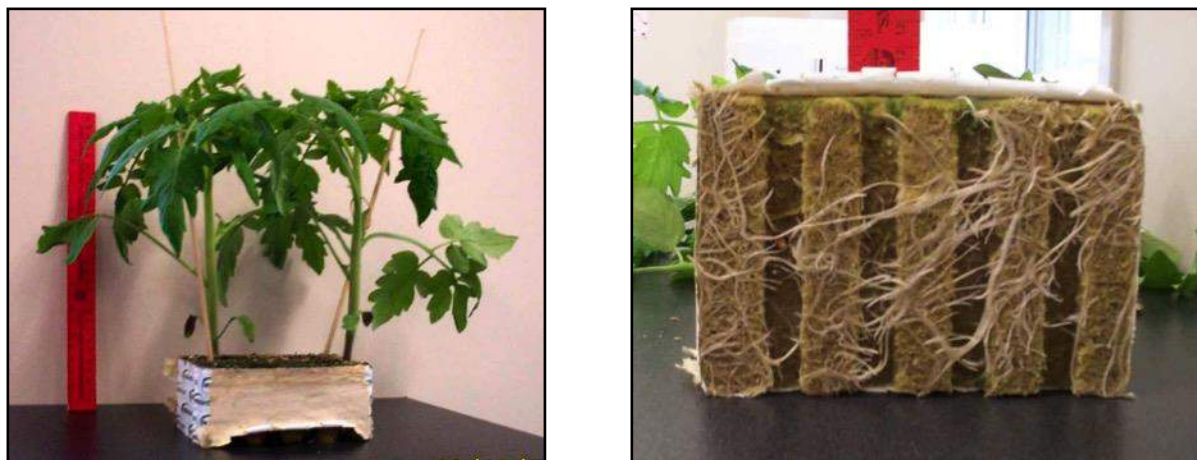


Figure 3.6 Jeunes plants âgés de 33 Jours produits pendant le mois de février avec éclairage d'appoint. Bloc de laine de roche de 10 cm X 15 cm X 6,5 cm avec 2 plants. Racines sous le bloc de laine de roche des plants de 33 jours.

- Le début de la floraison du premier bouquet se produit normalement de 57 à 60 jours après le semis (automne et hiver).
- Le nombre de jours nécessaire pour faire des plants dépend du stade de développement choisi pour la plantation en serre (tableau 3.2).

Tableau 3.2 Durées en pépinière pour un semis fait à la mi-novembre.

Opération	Nombre de jours*	Stade de développement correspondant
Semis	J	
Repiquage	J + 11 à 13	Première vraie feuille
	J + 28 à 31	~ 4-5 feuilles
	J + 33 à 36	~ 7 feuilles
	J + 38 à 41	~ 9 feuilles
	J + 42 à 45	1 ^{re} grappe visible

* : Le nombre de jours dépend de l'ensoleillement reçu, de l'utilisation d'éclairage d'appoint et de la température.

- Normalement, un écart entre la T° jour et la T° nuit est nécessaire autour du 40° jour après le semis afin de stimuler la croissance générative.
- En pépinière, la T° 24 h affecte l'équilibre génératif/végétatif des plants. En général, une T° 24 h élevée donne des plants plus génératifs. Mais attention, il faut tenir compte de l'ensoleillement, une T° 24 h trop élevée en période de très faible luminosité va donner des plants étiolés. Par contre, une T° 24 h trop froide va donner des plants végétatifs. De plus, ces plants formeront plus de feuilles avant la sortie de la première grappe, soit 11 à 13 au lieu de 8 à 11.
- Le niveau d'hygrométrie de la pépinière est réglé pour être semblable à celui de la serre où les plants seront installés. Il ne faut pas que le taux d'humidité de la pépinière soit de 90 % alors que les plants seront par la suite transférés dans une serre où ce taux sera de 50-60 %. Le choc sera alors très grand pour les plants, ce qui va provoquer un retard de croissance. Les conditions climatiques de la pépinière doivent être favorables à l'activation de l'évapotranspiration des plants, avec du chauffage, une bonne circulation de l'air et de la ventilation pour bien contrôler le taux d'humidité.
- Les deux premières grappes d'un plant de tomate sont initiées dans la tête entre le 14^e et le 28^e jour après le semis.
- L'enrichissement avec du CO₂ est important et la concentration optimale est de 500 à 700 ppm.

Comment « fabriquer » le plant idéal?

DU SEMIS AU REPIQUAGE

- **Les conditions au semis**

- Le semis se fait normalement dans un substrat qui est bien aéré, ayant une bonne rétention en eau et une bonne capacité de drainage. Plusieurs types de substrat rencontrent ces normes, mais le substrat idéal est la laine de roche.
- Avant le semis, on imbibe parfaitement le substrat avec de la solution nutritive : CE (conductivité électrique) = 0,5 à 1,0 mS/cm et pH = 5,5 à 5,7.

- Les graines sont déposées sur la laine de roche et sont recouvertes par une mince couche de vermiculite fine. Pour que la vermiculite soit parfaitement humectée, le dessus des plateaux à semis est aussitôt arrosé par « brumisation ».
- Les plateaux de semis sont déposés sur des tables qui permettent un bon égouttement. Il est recommandé de ne pas déposer les plateaux sur des flaques d'eau stagnante. Idéalement, la source de chaleur est placée sous les tables, ce qui procure une bonne circulation d'air.
- Couvrir les plateaux avec un polyéthylène transparent (2-mil).
- La T° substrat idéale pour la germination est de 25-26 °C.
- Dès que la germination a débuté, soit entre 48 à 72 heures, on retire les polyéthylènes. Les graines qui germeront après 96 heures donneront des plants de moins bonne qualité et devraient être rejetées.
- Il est important de garder la laine de roche (en surface, là où se trouve la graine) des plateaux de germination bien humide, s'il est trop sec, l'uniformité de la levée sera mauvaise.
- Le taux d'hygrométrie de la pépinière devrait se situer entre 70 et 80 %, ou entre 3 et 5 g/m³. Lorsque l'air est trop sec, le tégument de la graine reste attaché aux cotylédons. Pour éviter ce problème, dès que les plantules sont visibles, on peut les vaporiser deux fois par jour jusqu'à ce que les téguments soient tombés. Ne pas vaporiser les plantules à la fin de la journée.

- **Les conditions après la levée**

- Après la levée, maintenir la T° air entre 22 et 24 °C pour 2 autres jours, puis descendre graduellement à 20-22 °C jusqu'au repiquage (tableau 3.3). La T° jour et la T° nuit devraient être égales. Si les plantules ont tendance à s'étioler (manque de lumière) baisser la T° air autour de 18 °C. Le taux d'hygrométrie de la pépinière devrait se situer entre 70 et 80 %, ou entre 3 et 5 g/m³.

Objectifs :

- 1- Plantules uniformes
- 2- Plantules trapues → hypocotyle court
- 3- Tige = 2 mm de diamètre



- Un peu avant l'émergence de la première vraie feuille, il est bon d'augmenter la CE de la solution nutritive (T° solution de 20 °C) à chaque arrosage. La CE devrait passer graduellement de 1,0 mS/cm à 3,0 mS/cm avant le repiquage. Le pH est toujours ajusté entre 5,5 à 5,7.
- Si le substrat reste trop humide, dans une serre trop humide, l'aération du substrat sera déficiente, le développement des racines sera mauvais et il y aura plus de risques de maladies fongiques (*Pythium*). Cependant, si le substrat sèche trop, il y aura ralentissement de la croissance des jeunes plants. Ça demande beaucoup de doigté et de vigilance pour obtenir des plantules uniformes et en santé.
- ATTENTION aux gouttelettes de solution nutritive qui restent sur le feuillage après les arrosages, cela peut causer des chloroses si l'ensoleillement est fort. Si c'est le cas, il faudra autant que possible rincer le feuillage à l'eau claire.

- Si ce n'est pas absolument nécessaire, ne pas irriguer le jour précédent le repiquage. Les plants seront un peu moins turgescents et moins cassants lors du repiquage.

Tableau 3.3 Gestion de la température en fonction du stade de développement des plants.

Stade de développement	T° air recommandée T° jour = T° nuit	T° de ventilation
Germination	25-26 °C (T° substrat)	
De la levée au repiquage	Descendre progressivement de 25 °C à 20-22 °C	24 °C
Du repiquage à l'espacement	20-22 °C	Temps sombre : 22 °C Soleil : 24 °C
Après l'espacement des plants	18 °C à 21 °C Selon le rayonnement solaire	Selon l'ensoleillement et l'hygrométrie 19 °C à 23 °C
Après 40-45 jours ou lorsque le bouton du premier bouquet est visible	Faire un écart entre la T° jour et la T° nuit ± 2 °C	
	T° jour entre 18° et 21 °C T° nuit entre 16 °C et 19 °C	Selon l'ensoleillement et l'hygrométrie 19 °C à 23 °C

DU REPIQUAGE À L'ESPACEMENT DES PLANTS

• Les conditions au repiquage

- Le repiquage se fait lorsque la première vraie feuille est visible ou quand les petits plants se touchent et commencent à s'étioler, soit de 11 à 14 jours après le semis.
- Avant de repiquer, les jeunes plantes doivent être courtes avec une tige forte et avoir beaucoup de racines qui occupent tout l'espace de la petite cellule de laine de roche.
- Avant le repiquage, les blocs de laine de roche ou les pots pour le repiquage doivent être parfaitement mouillés avec une solution nutritive standard de 3,0 à 3,5 mS/cm. Le pH de la solution de mouillage est choisi en fonction du substrat et du résultat désiré qui est entre 5,5 et 5,7.

- Si les petits plants sont très courts, on peut les repiquer droit.
 - Pour obtenir un meilleur enracinement et des plants plus stables, il est conseillé de tourner la cellule contenant le jeune plant de $\frac{1}{4}$ de tour (rotation de 90°) et de la placer dans le trou du bloc en pliant délicatement la tige de côté sans la casser. Pour les transplants encore plus longs, il est possible de tourner de $\frac{1}{2}$ tour (rotation de 180°). Le but de cette manipulation est de favoriser un enracinement plus vigoureux. Le choix de l'angle à 90° ou à 180° permet aussi d'uniformiser la hauteur des jeunes plants lors du repiquage.
- **Les conditions après le repiquage**
 - Après le repiquage, il est avantageux de garder les blocs ou les pots assez collés pour économiser de l'espace. Mais dès que les feuilles des plants adjacents se touchent (environ 7 à 10 jours plus tard), il est temps de les espacer pour éviter qu'ils s'étioilent.
 - Arroser les blocs ou les pots tout de suite après le repiquage : CE = 3,5 mS; pH = 5,5-5,7; T° 20 °C.
 - Des tuteurs seront nécessaires si l'on désire conserver les plants en pépinière au-delà de 28 jours ou si l'on désire retarder le premier tuteurage des plants à la corde de support. On utilise généralement des bambous de 25 ou de 40 cm. Les plants sont retenus au tuteur par un élastique ou un clip de plastique.
 - Après repiquage, la T° air doit être de 20-22 °C. On profite des belles journées pour laisser augmenter la T° air de la serre jusqu'à 22-24 °C. Il n'est pas nécessaire de ventiler avant 24 °C, sauf pour créer un climat plus actif et pour contrôler le taux d'humidité.
 - Au début, maintenir le substrat bien mouillé. Dès que les racines sont bien installées, laisser sécher les blocs de plus en plus pour forcer les racines à s'établir partout. La stratégie d'arrosage se fait pour favoriser l'enracinement des jeunes plants partout dans le bloc ou le pot.
 - Utiliser une solution nutritive standard où l'on réduit le potassium d'environ 10 %, où l'on augmente le calcium d'environ 10 % et on maintient le fer à 1,5 ppm.

- Peu importe la technique d'irrigation, il est très important d'arroser tous les blocs de la même façon pour obtenir une croissance uniforme. L'arrosage au-dessus des plants avec une rampe est la technique la moins uniforme, à cause de l'obstruction créée par le feuillage. La subirrigation avec un plancher ou des tables inondables est une bonne technique à condition que l'égouttement après les arrosages soit parfait.

DE L'ESPACEMENT À LA MISE EN PLACE DANS LA SERRE

- **Les conditions à l'espacement**

- Le choix de la densité se fait en fonction de l'ensoleillement et du stade de développement que l'on désire obtenir pour la mise en serre (tableau 3.4 et figure 3.7).
- Aucun retard dans l'espacement ne devrait être toléré. Au moment même où les feuilles des plants commencent à se chevaucher débute une compétition pour la lumière. Les plants se mettent alors à allonger très rapidement et les tiges deviennent plus fines et plus fragiles.
- Ajuster la T° air en fonction de la lumière : T° air à 17-19 °C pour les journées sombres et 19-21 °C pour les journées ensoleillées.
- En général, après 40-45 jours ou lorsque le bouton du premier bouquet est visible dans la tête du plant, c'est le temps de créer une différence d'au moins 2 °C entre la T° jour/nuît.
- L'objectif est d'obtenir un développement racinaire qui occupera tout l'espace du bloc avant la plantation. Le dessous du bloc devra être recouvert d'un bon tapis racinaire. Visez à ce que les cubes soient remplis de racines, de haut en bas. Idéalement, avant de placer les nouveaux plants dans la serre, on peut voir des racines qui sortent ou qui pointent partout en dessous du bloc.
- Entre chaque arrosage, on laisse les blocs se ressuyer un peu. À l'aide d'une balance, on peut mieux identifier le bon moment pour irriguer et arroser les blocs lorsque leur poids est à 60-70 % du poids maximum (100 % de saturation en eau). À saturation, les blocs de laine de roche de 10 cm X 10 cm X 6,5 cm pèsent entre 550 et 600 grammes; les blocs

plus grands qui sont conçus pour repiquer deux plants (10 cm X 15 cm X 6,5 cm) pèsent entre 850 et 900 g.

- ATTENTION pour ne pas laisser les cubes s'assécher en bas de 50 %. Ce stress peut favoriser les maladies fongiques au niveau des racines (*Pythium*). De plus, le remouillage du dessus des blocs sera plus difficile par la suite.
- La conduite de la CE dépend de la lumière reçue et de l'aspect végétatif des jeunes plants. En général pendant cette phase, la CE sera augmentée progressivement à chaque arrosage pour empêcher les plants de devenir trop végétatifs. Si tel est le cas ou si la lumière est limitante, la CE pourra être haussée jusqu'à 5-6 mS/cm dans le substrat.

Tableau 3.4 Densité nécessaire dans la pépinière selon la date de mise en place dans la serre pour un semis réalisé à la mi-novembre.

Opération	Densité (plants/m ²)	Date de mise en place dans la serre
Semis	1 600	
Repiquage	100 à 120	
Écartement des plants	35 à 40	J + 28
Écartement - 2	25 à 28	J + 33
Écartement - 3	16 à 20	J + 42



Figure 3.7 Jeunes plants âgés d'environ 30 jours, espacés à 20 plants/m² (semis du début novembre).

MISE EN PLACE DANS LA SERRE

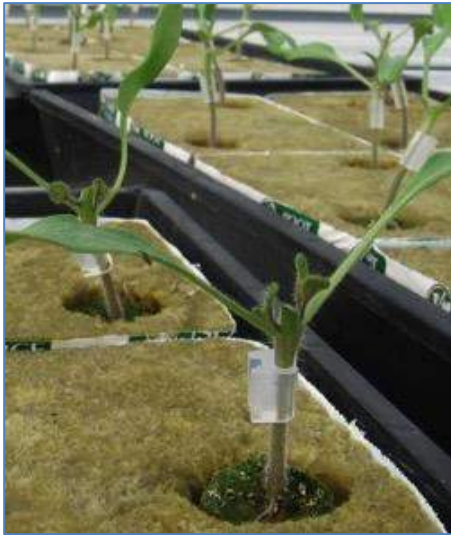
- Il y a deux façons de faire la mise en place des plants dans la serre. Les plants peuvent être déposés directement sur le substrat de culture ou ils peuvent être plantés dans le sol. De cette façon, on laisse les plants s'enraciner tout de suite après leur introduction dans la serre. Si la conduite de culture n'est pas modifiée en conséquence, cette technique va favoriser la croissance végétative. Pour contrecarrer cet effet, les plants doivent être effeuillés sévèrement aussitôt que les racines sont bien établies dans le substrat de culture. De plus, la conduite de l'irrigation est faite pour limiter la croissance végétative, par exemple : utiliser une CE plus élevée et réduire la concentration de l'azote dans la solution nutritive.
- L'autre technique consiste à placer les plants dans la serre sans les planter directement. Les blocs de laine de roche sont alors déposés sur un petit carré de polyéthylène, ou sur une petite assiette de styromousse pour empêcher l'enracinement dans le substrat de culture. Ce retard de plantation donne un stress positif à la plante, car ses racines commencent à manquer d'espace dans ce petit volume de substrat. Cette technique permet de limiter la croissance végétative au profit du développement génératif des jeunes plants et c'est ce que l'on recherche. La plantation se fait entre le moment où le premier bouquet est complètement sorti et le début de sa floraison. Avec certaines variétés très végétatives, ou avec des plants greffés, il peut être nécessaire de retarder encore un peu la plantation. Il ne faut jamais attendre que les fruits commencent à se développer, car la plante pourrait manquer d'énergie par la suite pour le développement de ses racines.
- Une fois que les plants sont dans la serre, le système de goutte-à-goutte est distribué à chaque plant.
- Si l'équilibre végétatif/génératif est bien contrôlé dès le départ, par la suite les plants de tomate seront plus faciles à conduire. De plus, si on évite les excès de vigueur au tout début, la qualité des fruits de la première grappe sera meilleure et la première récolte sera plus hâtive.
- Les conditions climatiques et d'irrigation seront les mêmes que celles décrites à l'espacement.

- Lorsqu'il fait très froid à l'extérieur et que vous chauffez beaucoup, surveillez l'état d'assèchement des blocs.

3.4 LE GREFFAGE DE LA TOMATE

Le greffage permet de donner à un cultivar de tomate sélectionné un système racinaire plus robuste et plus résistant aux maladies fongiques, mais c'est aussi un bon moyen pour obtenir des plants qui ont plus de vigueur. Cette vigueur supplémentaire est particulièrement bénéfique lorsque les conditions climatiques sont difficiles, comme pendant les périodes très chaudes de l'été et en fin de saison de production. Seulement en considérant ce dernier aspect, une culture greffée peut apporter entre 5 et 10 % de rendements supplémentaires, si la conduite de culture est effectuée adéquatement. Pendant les fortes chaleurs de l'été, la robustesse des plants greffés permet de refroidir plus facilement la serre et ça permet aussi de conserver une meilleure qualité des fruits. Actuellement au Québec, l'un des porte-greffes les plus utilisés est Maxifort (Monsanto, De Ruiter Seeds). Maxifort est l'un de ceux qui confère le plus de vigueur aux plants. Pour les producteurs qui font la culture de la tomate en sol et qui ont besoin de plants qui ont une bonne résistance aux nématodes, le porte-greffe Big Power (Rijk Zwaan) est plus approprié.

Dans tous les cas, il est fortement conseillé de faire des tests au préalable pour bien ajuster les dates de semis. Les plants greffés peuvent être cultivés sur une seule tige, mais si les conditions climatiques ne sont pas assez extrêmes, la vigueur et la végétation de ces plants vont devenir rapidement excessives. Ces plants seront par la suite très difficiles, pour ne pas dire impossible à équilibrer et ils resteront avec un fort caractère végétatif tout au cours de la saison de production. La sortie des bouquets de ces plants sera moins uniforme, la qualité des fruits sera aussi affectée, finalement, les rendements seront moindres. Pour équilibrer les plants greffés, il est nécessaire de conduire chaque plant sur 2 tiges. Les techniques les plus courantes pour obtenir 2 têtes sur des plants greffés en pépinière sont illustrées dans les photos ci-dessous. On peut aussi doubler les têtes une fois que les plants sont dans la serre et cette 2^e tête sera partie juste sous le premier bouquet.



Sur la photo de gauche, la tête est taillée au-dessus des cotylédons. On voit que les 2 nouvelles tiges (drageons) sont initiées à l'aisselle des cotylédons. Sur la photo de droite, la tête du plant greffé est coupée au-dessus de la deuxième vraie feuille pour laisser les drageons pousser à l'aisselle de la 1^{re} et de la 2^e feuille. Les 2 photos ci-dessous montrent le résultat des 2 techniques de pinçage pour obtenir un plant greffé avec 2 têtes.



Les avantages et les désavantages de 3 techniques pour obtenir des plants à 2 têtes sont présentés dans le tableau ci-dessous.

2 tiges au niveau de la 1 ^{re} et de la 2 ^e feuille	2 tiges au niveau des cotylédons	2 ^e tige initiée sous le premier bouquet
AVANTAGES		
⇒ C'est plus facile de faire sortir les drageons au niveau des vraies feuilles vs les cotylédons. ⇒ Technique plus rapide pour obtenir 2 tiges en pépinière vs les cotylédons. ⇒ Système génératif qui donne le premier bouquet très bas sur les 2 tiges. Cependant, si la lumière est faible, il est nécessaire de réduire le nombre de fruits sur la première grappe.	⇒ Les deux tiges sont très égales et les plants sont très uniformes. ⇒ Système génératif qui donne le premier bouquet très bas sur les 2 tiges. Cependant, si la lumière est faible, il est nécessaire de réduire le nombre de fruits sur la première grappe.	⇒ La période de préparation des plants en pépinière est la plus courte. ⇒ Pas de risque de fendre le porte-greffe au niveau de l'initiation des 2 tiges, car la 2^e tige est initiée plus haut sur le plant.
DÉSAVANTAGES		
⇒ La période pour la préparation des plants est plus longue d'environ 5 à 7 jours. ⇒ Il y a un risque que les tiges ne soient pas égales si la sortie des drageons n'est pas simultanée ou si l'espacement des plants en pépinière n'est pas uniforme. ⇒ Il y a un risque que le porte-greffe fende sous les 2 tiges, car les tiges sont normalement abaissées dans des directions opposées. Cette fente deviendra un lieu propice au développement de certaines maladies fongiques (<i>Botrytis</i>, <i>Fusarium</i>). Pour réduire ce problème, les 2 tiges doivent être attachées aussi bas que possible.	⇒ Surtout si la lumière est faible, la sortie des drageons au niveau des cotylédons peut prendre beaucoup de temps. La période de pépinière est la plus longue, de 7 à 10 jours de plus. ⇒ Il y a un risque que le porte-greffe fende sous les 2 tiges, car les tiges sont normalement abaissées dans des directions opposées. Cette fente deviendra un lieu propice au développement de certaines maladies fongiques (<i>Botrytis</i>, <i>Fusarium</i>). Pour réduire ce problème, les 2 tiges doivent être attachées aussi bas que possible.	⇒ Il y a un risque que les tiges ne soient pas égales si la sortie du drageon sous le 1^{er} bouquet n'est pas bien réalisée. La tête du plant doit toujours être abaissée en avant du drageon. ⇒ La première récolte peut être moins abondante, car le premier bouquet de la 2^e tige va sortir plus tard.

Technique de greffage

Le passage qui suit présente les détails techniques du greffage de la tomate. De l'information plus pratique et imagée est disponible à l'annexe 1. Les conditions qui s'appliquent pour le semis, la germination et la levée sont les mêmes que celles qui ont été présentées à la section 3.3 (Préparation des plants de tomate). Dans ce qui suit, il sera question des conditions qui concernent plus spécifiquement le greffage.

SEMIS ET GERMINATION

- Avec des semences de type prégermé, le semis du porte-greffe se fait pratiquement en même temps que celui de la variété principale. Cependant, il est avantageux de semer sur 2-3 jours pour obtenir un maximum d'uniformité lors du greffage.
- Faire les semis des porte-greffes dans des plateaux de multicellules. Les plateaux de type « Kiem plugs » avec 240 cellules de laine de roche sont pratiques pour le greffage, car les petites cellules s'enlèvent facilement du plateau de styromousse. C'est particulièrement pratique pour faire la sélection des plantules du porte-greffe.
- Certains porte-greffes ont besoin de lumière pour germer. Une photopériode de 16 heures avec l'éclairage artificiel de la chambre de semis, c'est parfait. Si la germination se fait en serre, la lumière solaire est suffisante. Afin de mieux contrôler la température du substrat, l'exposition des plateaux de multicellules aux rayons directs du soleil est à éviter. Si la température du substrat de germination dépasse 28 °C, il y a un risque d'inhiber la germination.
- Selon la variété du porte-greffe choisie, on sème de 35 à 60 % de graines en extra pour être certain de l'uniformité des plantules lors du greffage. Faire des tests au préalable.

DE LA LEVÉE AU GREFFAGE

- Quelques jours après la levée, il est préférable de sélectionner les porte-greffes. Le but de cette opération est d'éliminer toutes les plantules qui sont trop faibles ou de mauvaise qualité. Cette sélection est à faire au moins une fois, mais il est quelquefois nécessaire d'en faire deux.

- Quelques jours avant le greffage, faire une autre sélection des porte-greffes. Cette fois, on vise à trier les porte-greffes selon le diamètre de la tige. Les plantules de diamètre similaire sont classées par plateau.
- Le triage par diamètre de tige est une étape clef pour bien réussir le greffage. Lors du tri, les porte-greffes de même taille sont replacés sur le même plateau de multicellules. L'idéal est de placer seulement 80 plantules dans un contenant de 240 cellules, on laisse 2 cellules vides sur 3. Cette méthode donne plus d'espace pour faire le greffage.
- Si les plantules manquent de vigueur, il est important de les renforcer en abaissant la température pendant quelques jours.
- Tout au long du processus, il est nécessaire de suivre attentivement le développement des plantules, car c'est essentiel pour réussir le greffage que le diamètre des tiges des porte-greffes et des greffons soient de mêmes tailles. C'est principalement en modifiant la température et les conditions de lumière que l'on ajuste les diamètres de tige des porte-greffes et des greffons. Il est même possible d'arrêter la croissance de plantules en les plaçant à une température de 12 à 13 °C pendant quelques jours.
- Pour le greffage, on vise à ce que la CE du substrat de germination soit entre 2,0 et 3,0 mS/cm et le pH entre 5,5 et 6,0.

CONSEILS ET CONSIGNES POUR LE GREFFAGE

- Le greffage s'effectue lorsque le diamètre moyen des tiges de plantules est entre 1,5 à 1,7 mm, ce qui correspond au stade de l'apparition de la 3^e vraie feuille. Les jeunes plantules de tomate ont alors de 17 à 22 jours.
- Le greffage se fait idéalement dans un local où l'on contrôle la température et l'humidité. Le soleil direct est absolument à éviter. La T° air optimale se situe entre 20 et 22 °C. L'humidité relative entre 80 et 90 %. Si l'humidité est trop basse, il est possible de l'augmenter par de la brumisation dans le local. Éviter les courants d'air.

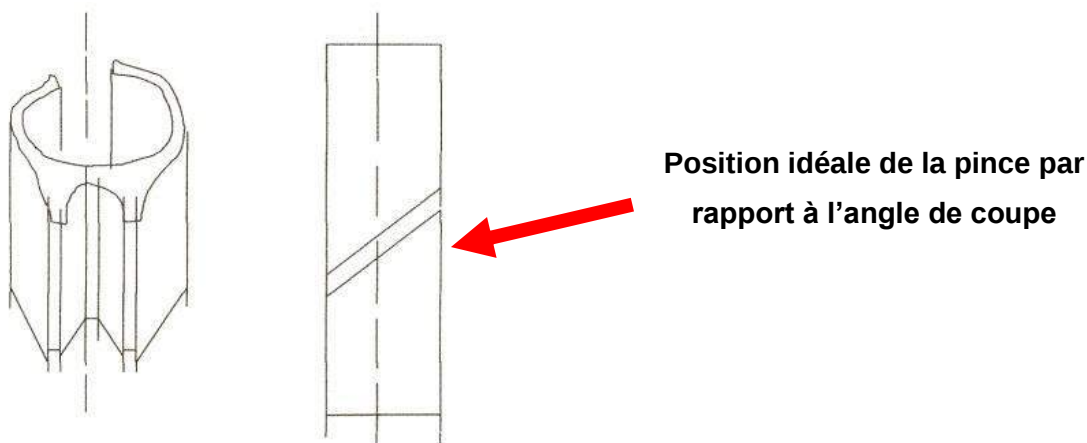
- Toutes les structures et les équipements sont au préalable désinfectés avec un produit recommandé pour les serres⁷. Les travailleurs devraient porter des vêtements propres.
- Prévoir plusieurs lames de rasoir, car il faut changer très souvent pour toujours avoir une coupe nette et parfaite.
- Les plateaux de multicellules sont arrosés avant le greffage. La CE est de 2–3 mS/cm et le pH entre 5,5 à 6,0.

ÉTAPES DU GREFFAGE

- Le porte-greffe est coupé à un angle de 45°. Une coupe avec un angle permet une meilleure fusion qu'une coupe droite, car la surface de contact est plus grande. Il est préférable de couper sous les cotylédons du porte-greffe pour éviter la croissance des drageons à l'aisselle des cotylédons.
- La hauteur de coupe est de 2-3 cm au-dessus de la cellule de laine de roche :
 - Plus haut, la greffe risque d'être instable.
 - Plus bas, le greffon pourra s'enraciner dans le substrat.
 - La hauteur de coupe est la même pour tous les porte-greffes.
- Le greffon est aussi taillé à un angle de 45°. Si on veut dédoubler le greffon au niveau des cotylédons, la coupe se fait environ 2 cm sous les cotylédons. S'il est prévu d'initier les 2 têtes au niveau de la 1^{re} et 2^e feuille, il est alors possible de couper sous ou au-dessus des cotylédons. L'idéal est de couper au-dessus afin d'éviter la sortie des drageons au niveau des cotylédons, on se retrouve alors avec 4 têtes.
- En premier, on coupe une quantité suffisante de greffons afin de pouvoir greffer un plateau complet de porte-greffes. Une fois que les porte-greffes sont coupés, on installe les pinces de greffage.

⁷ Lambert, L. Le nettoyage et la désinfection des serres en fin de saison. Réseau d'avertissements phytosanitaires, MAPAQ. Réseau cultures en serres. [http://www.agrireseau.qc.ca/rap/?s\[0\]=0-938-1181-1183-1732&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/rap/?s[0]=0-938-1181-1183-1732&page=1)

- L'étape suivante consiste à insérer le greffon dans la pince de greffage par-dessus le porte-greffe en étant bien sûr que les 2 faces coupées sont bien en contact. Le contact porte-greffe/greffon doit être parfait.



- Il est nécessaire d'avoir plusieurs grosseurs de pince en silicone pour s'ajuster selon le diamètre des tiges et de bien maintenir le porte-greffe et le greffon en place. Généralement, on utilise des pinces dont le diamètre va de 1,2 à 2,2 mm. La majorité des pinces que l'on utilise normalement sont de 1,5 et 1,8 mm.

REPRISE DE LA GREFFE (FUSION)

« C'est la phase critique du greffage et c'est souvent là que l'on manque son coup... »

- Dès qu'un plateau est terminé, on le transfère immédiatement dans l'endroit qui est prévu pour la fusion. La fusion peut se faire dans une salle à atmosphère contrôlée ou encore dans un abri ou un mini tunnel qui est fabriqué avec un film de polyéthylène.
- Les plantules ont besoin de lumière pendant la fusion. Un apport d'éclairage artificiel est à prévoir si ça se fait en salle. Le plus simple est d'installer l'abri dans une serre. Les plantes peuvent recevoir de la lumière, mais pas de soleil direct. Afin d'éviter que la température ne monte trop dans l'abri, il est nécessaire d'ombrager la serre et l'abri, et ce tant que les plantules ne sont pas acclimatées.

- Le maintien d'un climat constant et uniforme à l'intérieur de l'abri où se fait la fusion est impératif. Les conditions optimales sont :
 - T° air de 21–22 °C. Si le tunnel de fusion est dans une serre, il est nécessaire de le concevoir pour que la température reste en deçà de 24 °C, même pendant les périodes ensoleillées.
 - L'humidité relative entre 85-90 %.
- Pendant la phase de fusion, vérifier l'état des plantules plusieurs fois par jour afin de réagir au bon moment s'ils se mettent à faner. Si les plantules fanent, il est nécessaire de les brumiser.
- Les 3 premiers jours sont critiques. Le taux d'humidité dans le tunnel de fusion est à maintenir autour de 90 %. Il est donc important de le laisser fermé. Au 4^e jour, normalement la fusion est faite, mais c'est encore fragile.
- C'est à partir de la fin du 4^e jour ou du 5^e jour qu'il est possible de débiter l'acclimatement. L'acclimatement consiste à endurcir les plantules pour qu'ils puissent supporter l'environnement plus sec et plus ensoleillé de la pépinière. On commence par ventiler légèrement en soulevant ou en perforant le film de polyéthylène qui forme l'abri. Éviter une chute rapide et subite du taux d'humidité relative à l'intérieur de l'abri, on y va progressivement tout en suivant régulièrement l'état des plantules. Si jamais les plantules fanent, une légère brumisation va les aider et ensuite on referme l'abri. Une fois que les plantules ont repris leur turgescence, on reprend l'acclimatement en douceur.
- Au 6^e jour, on commence à ventiler davantage l'abri dans la mesure où les petits plants sont résistants. L'objectif est que les jeunes plants puissent à la fin du processus d'acclimatement, soit au 8^e jour, supporter aisément le taux d'humidité relative de la pépinière où ils seront transférés.
- Le 7^e jour, si toutes les étapes précédentes ont bien fonctionné, les plantules devraient être presque acclimatées aux conditions de la pépinière, donc pendant cette journée, le polyéthylène qui forme l'abri pourra être complètement enlevé avant la fin de cette journée. Au 8^e jour, on commence la conduite climatique normale des plants.

- Le repiquage se fait lorsque les plantules ont repris une croissance normale, c'est-à-dire à partir du 9^e ou 10^e jour après le greffage. À ce moment, le joint de la greffe est solide. Il n'est pas nécessaire d'enlever les pinces de silicone.

3.5 LA PHYTOPROTECTION, ÇA COMMENCE DANS LA PÉPINIÈRE...

La stratégie phytosanitaire commence dans la pépinière. En ce qui concerne les maladies et les insectes, c'est la règle de la « tolérance zéro » qui s'applique. La salle de semis et la zone de propagation sont à nettoyer et à désinfecter de manière rigoureuse. Tout doit être impeccable : aucun résidu de culture, surtout s'il y a eu du chancre bactérien dans la serre. Toutes les mauvaises herbes sont à éliminer et aucune plante ornementale n'est tolérée. Il est important de s'assurer que la pépinière est à l'abri de toute contamination extérieure. L'accès à cette zone est contrôlé et limité. À l'entrée, bien en évidence, on place un bac de désinfection pour les pieds et un distributeur de produit désinfectant pour les mains. On ne passe jamais directement d'une serre qui n'a pas été nettoyée, à la pépinière, sans prendre le temps de se désinfecter les pieds, les mains ou sans changer de vêtements. Il est essentiel d'établir une stratégie de lutte intégrée. L'introduction des auxiliaires de lutte biologique est à prévoir pour que ce soit effectué le plus tôt possible.

CHAPITRE 4

CONDUITE DE CULTURE

4.1 SYSTÈME DE CULTURE ET DE PALISSAGE

La culture de la tomate de serre se fait majoritairement sur des sacs de substrats étalés sur le sol ou sur des dalles suspendues à la structure de la serre (figure 4.1). Les planchers de serre sont nivelés pour permettre d'étaler les sacs de culture linéairement dans le sens de la serre. L'espacement mesuré entre les sacs de culture permet de gérer la densité de plantation, souvent exprimée en plants par mètre carré (pl/m²). Vers la fin des années '90, les entreprises ont commencé à accrocher des dalles aux structures des serres pour permettre de surélever les sacs de culture à une meilleure hauteur de travail. Cette technique favorise également la recirculation et le recyclage de l'eau. Aussi, particulièrement au Canada, l'installation des dalles conjointement avec l'utilisation de l'éclairage artificiel favorise la technique de contre-plantation des cultures.



Figure 4.1 Sacs de fibres de coco étalés directement sur le sol (photo de gauche) et sacs de fibres de coco placés sur des dalles suspendues (photo de droite).

Choix du substrat

Le substrat est l'élément d'ancrage racinaire. La conduite de culture hors sol en sacs ou en bacs nécessite l'utilisation de substrats d'origine minérale (laine de roche) ou organique (fibre de coco, tourbes, etc.) et divers mélanges. La conduite de culture doit être adaptée aux caractéristiques techniques et avantages des produits : porosité, capillarité, etc.

POROSITÉ

La porosité du substrat influence le développement racinaire. Elle influence grandement la conduite de l'arrosage. La porosité, c'est l'ensemble du volume que peut occuper l'eau et l'air en pourcentage du volume de substrat. De gros pores influencent grandement l'équilibre air-eau dans le substrat.

CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU

C'est la teneur en eau en volume, après ressuyage du substrat. C'est une caractéristique sécurisante en conduite sur substrat. Le substrat doit être en mesure de retenir l'eau tout étant suffisamment drainant. Une capacité de rétention excessive présente des risques d'asphyxie et à l'inverse une capacité de rétention faible demande un système d'irrigation performant puisque le drainage risque d'être important.

DIMENSION DES SACS DE CULTURE

Plusieurs dimensions de sacs de culture sont disponibles sur le marché. Les sacs longs (>50 cm) se retrouvent principalement dans les cultures conventionnelles. Lorsqu'un producteur planifie une contre-plantation, il optera pour des sacs plus courts pour permettre d'intercaler les sacs dans les espaces vides dans un rang. La hauteur et la largeur des sacs influencent le volume total du substrat.

VOLUME DE SUBSTRAT

Les producteurs ont un grand choix de volume de substrat sur le marché. En général, on recommande un volume minimal de substrat par plante, exprimé en litres par plant (L/pl). Un volume suffisant est

requis pour permettre une production maximale. Si le volume est insuffisant, le volume racinaire est insuffisant et requiert un système d'irrigation performant. Si le volume est trop grand, le ressuyage peut être difficile. Le volume de substrat pour la culture de la tomate varie de 3 à 5 L/pl.

FACILITÉ DE MISE EN PLACE

On parle ici de sacs qui permettent le minimum de travail lors de la mise en place. Le producteur cherche des sacs légers, compressés, avec des fentes de drainage prépercées, avec des trous préfabriqués en usine pour l'encrage des plants, puits d'aération, etc.

RECYCLAGE

À la fin d'une saison de culture, les producteurs doivent se débarrasser des sacs de culture. Les sacs sont vieux, remplis de racines et ils peuvent même contenir des agents pathogènes. Ils sont souvent lourds. La facilité de les assécher en fin de culture, de les empiler et de s'en débarrasser écologiquement deviennent des facteurs importants dans le choix initial du substrat.

Structure de serre et optimisation des rangs de culture

Les fabricants construisent des serres de différentes largeurs, et la largeur des serres influence le nombre de rangs de culture. En général, la dimension des serres est de 6,4 mètres, de 8,0 mètres, de 9,6 mètres, même 11,0 mètres dans certaines régions du globe. Les rangs de culture ont une distance standard de 1,6 mètre entre eux. Donc dans une serre de 6,4 mètres, on retrouve 4 rangs de culture répartis sur la largeur de la serre. De la même manière, une serre de 8,0 mètres comprend 5 rangs de culture. Dans une serre de 9,6 mètres, on peut espacer 5 rangs au lieu de 6 rangs, il y a plus d'espace entre les plants. La conduite de culture est différente dans ce type d'espacement puisque la lumière pénètre davantage entre les rangées de plants de tomate. Avec l'utilisation d'éclairage artificiel, on retrouve ce type d'optimisation des rangs de culture.

4.2 ENTRETIEN DES PLANTS DE TOMATE

Le contrôle des températures de jour et de nuit, ainsi que de l'écart entre celles-ci, est un élément essentiel pour le succès d'une culture de tomate en serre. Conjointement, des travaux d'entretien sont

à effectuer sur les plantes afin de diriger le développement des plants et de maintenir un équilibre entre la croissance végétative et reproductive. Les travaux ou tâches horticoles sont à exécuter hebdomadairement ou quotidiennement comme mentionné dans le chapitre 10 portant sur le travail en serre.

Densité de plantation

Les plants de tomate doivent croître de façon équilibrée tout au long de la saison de culture. Lors de la mise en place de la culture, typiquement au début du mois de janvier, la lumière reçue dans la serre est faible et suffit à maintenir la croissance et le développement d'un jeune plant de tomate de façon équilibrée. Si la quantité de plantes par unité de surface est trop grande lors de la mise en place au début du mois de janvier, les plantes vont avoir une croissance étiolée et la formation en fruit sera nulle. Au Québec, une densité de plantation typique pour le mois de janvier se situe entre 2,2 et 2,4 pl/m². Normalement, dans une serre où les rangs doubles sont espacés (centre à centre) de 1,6 m, avec une densité de 2,4 pl/m², la distance entre les têtes dans le sens du rang est autour de 45 cm.

Augmentation de la densité en cours de culture

L'augmentation de la densité du nombre de plantes pour profiter de la lumière disponible est une technique très recommandable. Cet accroissement qui est généralement de 25 % et qui est fait en cours de culture contribue à augmenter les rendements. Dès le mois de mars, les producteurs de tomates de type charnu peuvent augmenter la densité de 2,4 à 3,0 pl/m². L'augmentation du nombre de têtes de plants s'effectue en sélectionnant un drageon qui pousse à l'aisselle d'une feuille (figure 4.2). Ce drageon n'est pas enlevé lors de l'opération d'édrageonnage. Le drageon devient un plant qui est, par la suite, attaché et tuteuré comme la plante mère. Une semaine avant une augmentation de la densité, le producteur demande aux travailleurs de ne pas enlever le drageon sur les plantes sélectionnées. Durant cette semaine, il installe des crochets portant des ficelles de couleur différente pour une identification facile. La semaine suivante, les travailleurs attachent le drageon sur la ficelle. C'est le départ d'un nouveau plant qui produira des fruits comme le plant mère. Il faut bien espacer ces plants et égaliser les têtes dès que possible.



Figure 4.2 Départ d'un drageon pour une augmentation de la densité en cours de culture.

TECHNIQUE DE L'EXTRA-BRAS

Le drageon que l'on conserve pour accroître la densité est appelé extra-bras. Détails techniques pour augmenter la densité avec des extra-bras :

- En tout premier lieu, il est important de considérer le nombre de sacs de culture et le nombre de plants par sac lorsque l'on décide d'augmenter la densité. Pour que l'arrosage reste uniforme, la répartition des drageons est à faire en suivant le nombre de sacs.
- À partir de $2,4 \text{ pl/m}^2$, pour réaliser une augmentation de densité de 25 %, il faut conserver 1 drageon à tous les 4 plants. L'accroissement du nombre de tête est de 6 000 têtes/ha, ce qui va au final donner une densité de $3,0 \text{ pl/m}^2$. Si l'on conserve 1 extra-bras à tous les 3 plants, la densité finale sera de $3,2 \text{ pl/m}^2$. Ne conserver que les drageons qui sont assez vigoureux.
- Laisser retomber la tête primaire en avant dans le sens de l'abaissement des plants pour maximiser l'utilisation de la lumière. Le drageon est tuteuré sur la corde de la tige

principale (corde blanche sur la figure 4.3) et la tête du plant est tuteurée sur la nouvelle corde (corde noire).



Figure 4.3 Technique de l'extra-bras. Photo de gauche : corde blanche pour le drageon et corde noire pour la tête du plant. Photo de droite : nœud simple pouvant servir à relier la nouvelle corde au plant.



- Au moment de tuteurer le drageon pour la première fois, il est préférable d'enlever la feuille sur la tige principale qui se trouve juste sous le V d'embranchement du drageon. La nouvelle corde est réunie à la corde principale avec un clip ou c'est plus rapide de faire un simple nœud (corde bleue).

- En dirigeant la tête principale dans le sens de l'abaissement, l'espacement des 2 têtes est plus facile. Après un certain temps, on ne voit plus de différence entre la tête primaire et l'extra-bras et l'utilisation de la lumière est optimale (photo ci-contre). De plus, cette façon de faire réduit beaucoup le risque de casser l'une des tiges lors de la descente des plants.

Effeuilage de la tomate

Bien que ce soit une tâche routinière, l'effeuillage est une opération hautement importante dans la conduite de culture. L'effeuillage c'est bien plus qu'un travail d'entretien hebdomadaire, c'est avant tout un outil de régulation de l'usine de photosynthèse. À l'échelle d'une culture, on utilise souvent les termes de surface foliaire pour désigner l'ensemble des feuilles d'un ou plusieurs plants de tomate (« leaf area index » dans la figure 4.4). C'est la surface foliaire qui détermine la productivité. Plus il y a de lumière de captée par les feuilles, plus il y a de sucres qui sont disponibles pour la production de fruits. Pour maximiser l'efficacité des feuilles à capter la lumière et à transférer les sucres vers les fruits, il y a plusieurs facteurs à considérer. En plus d'agir directement sur le taux de photosynthèse, la surface foliaire influence aussi le développement des plants de tomate et la conduite de culture. Voici quels sont les aspects physiologiques et cultureux qui sont influencés par la surface foliaire :

- L'équilibre génératif/végétatif.
- La consommation en eau (transpiration).
- La qualité des fruits.
- Les maladies fongiques comme le *Botrytis* (moisissure grise) et l'*Oïdium* (blanc).
- La lutte biologique.
- L'efficacité du travail : récolte et descente des plants.

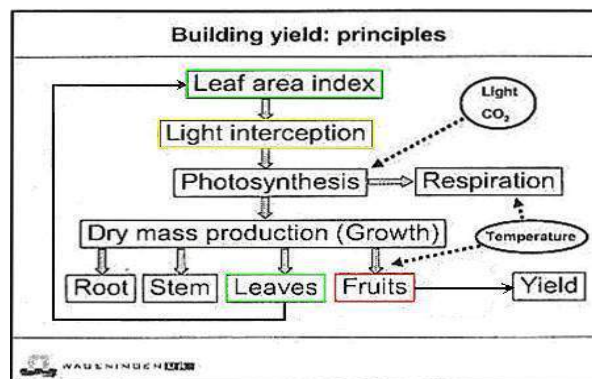


Figure 4.4 Schéma illustrant les facteurs clés qui sont déterminants dans la productivité d'une culture de tomates⁸.

⁸ Schéma adapté à partir d'un texte de séminaire présenté par Ep Heuvelink. *Biomass production and yield of tomato: physiology and simulation models*. Journée de séminaires sur la culture sous serre (2008).

COMBIEN DE FEUILLES DEVRAIT-ON CONSERVER PAR PLANT?

Malheureusement, il n'y a pas de chiffre magique que l'on peut suivre toute la saison sans se poser de questions. Il y a par contre certaines règles de base qui sont fort utiles pour aider à prendre une décision.

La règle no 1. L'objectif est de maximiser la lumière qui est interceptée par tout le couvert végétal. Les différentes études qui ont été réalisées sur cet aspect indiquent que l'optimum pour une culture mature est que la surface foliaire des plants qui est au-dessus de 1 m² de surface de plancher représente 3 m². C'est-à-dire que si l'on mettait bout à bout toutes les folioles de toutes les feuilles qui sont situées au-dessus de 1 m² de plancher, on pourrait former une toile de 3 m². Cette valeur serait optimale quant à l'interception de la lumière et à la surface d'évapotranspiration pour une culture mature lorsque les conditions d'ensoleillement sont favorables. Comme approximation, on peut dire que 18-20 feuilles (longueur normale) par plant avec une densité de 3,0 tiges/m² donnent autour de 3 m² de surface foliaire par m² de plancher de serre.

La règle no 2. Le nombre de feuilles à conserver par plant (culture mature) est fonction de la lumière reçue. La règle du « pouce » est :

➔ **4 feuilles/m² (42-45 cm de longueur) pour chaque tranche de 1 000 J/cm² de lumière reçue par semaine**

Cette formule n'est pas absolue, mais ça reste un bon outil pour ajuster la densité du couvert végétal selon les saisons. Par exemple, pour 13 000 joules/cm²/sem (mois de juin), avec une densité de 3,0 pl/m², il faudrait conserver 17 feuilles qui ont une longueur de 42-45 cm par plant. Selon l'équilibre des plants, la règle peut être ajustée de la façon suivante :

- Pour des plants végétatifs : 17 - 2 feuilles = 15 feuilles.
- Pour des plants génératifs : 17 + 2 feuilles = 19 feuilles.

La règle no 3. Le nombre de feuilles doit tenir compte du stade de développement. En début de culture, l'effeuillage sert principalement à diriger l'équilibre des plants. Un effeuillage agressif aura un effet génératif, un manque d'effeuillage donnera des plants végétatifs. L'effeuillage dans la tête est aussi une bonne technique pour réduire la surface foliaire excessive en début de culture et pour rendre les plants plus génératifs (figure 4.5). En début de culture, la surface foliaire est rarement un facteur

limitatif, car les plants portent peu de fruits. Au printemps et en automne, l'effeuillage sévère dans le bas des plants permet d'optimiser la production en exposant les fruits à la lumière et à la chaleur. Un accroissement de température moyenne de fruit de 0,2 °C raccourcit la vitesse de maturation de 1,2 jour⁹. En été, on effeuille moins, car les feuilles du bas ont un rôle de protection des fruits contre les rayons directs du soleil. Après l'étêtage des plants, le nombre de feuilles suit le nombre de grappes qui reste sur le plant : 2 feuilles par grappe c'est suffisant.



Figure 4.5 Effeuillage dans la tête d'un plant de tomate.

POSITION DES FEUILLES SUR LE PLANT

Les feuilles du bas du plant (vieilles) sont généralement moins efficaces que les jeunes feuilles matures pour faire de la photosynthèse, mais cette différence ne s'explique pas par l'âge des feuilles. Le facteur limitant pour les vieilles feuilles est la faible quantité de lumière qu'elles reçoivent. C'est aussi le cas des feuilles qui se trouvent à l'intérieur du rang. L'efficacité des feuilles à produire des sucres est donc liée à la lumière qu'elles reçoivent. L'effeuillage devrait donc tenir compte de la pénétration de la lumière dans le couvert végétal. Une feuille qui ne reçoit pas suffisamment de lumière, c'est une feuille de trop... Pourquoi? Cette feuille consomme probablement plus de sucres pour se maintenir en « vie » qu'elle n'en produit, elle est donc en compétition avec les fruits.



⁹ Adams, S.R., Woodward, G.C. and Valdes, V.M. (2002). The effects of the leaf removal and modifying temperature set-points with solar radiation on tomato yields. *Journal of Horticultural science & Biotechnology*. 77(6) 733-738.

Pour la plupart des producteurs, l'effeuillage s'effectue à la base des plants. En été, 1 à 2 grappes sont complètement dégagées (photo ci-contre). Au printemps et en automne, l'ensoleillement est moins intense et on peut découvrir jusqu'à 3 grappes. L'effeuillage à la base des plants est important pour favoriser un bon mouvement de l'air, dans une serre qui est basse, où c'est sans doute la meilleure option. Mais pour une serre qui est haute, ce n'est pas la technique optimale pour l'interception de la lumière.

Dans une serre où la hauteur n'est pas un facteur limitant, il est possible de tenir les plants plus hauts et à ce moment, l'effeuillage peut se faire de différentes manières. Il n'est plus nécessaire d'effeuiller seulement à la base des plants, on peut aussi bien enlever des feuilles plus haut sur le plant pour permettre la pénétration de la lumière jusqu'aux feuilles qui sont plus basses. Cette approche est plus efficace pour répartir l'interception de la lumière de haut en bas sur le plant. Pourquoi est-ce important de répartir l'interception de la lumière?



Pendant les périodes d'ensoleillement intense, les feuilles du haut sont souvent saturées en lumière, si la lumière peut pénétrer le couvert végétal et atteindre les strates de feuilles inférieures avec une bonne intensité, la photosynthèse peut se poursuivre avec efficacité. Donc, toutes les feuilles peuvent être utiles à la condition qu'elles reçoivent suffisamment de lumière. Dans la photo ci-contre, l'effeuillage a été réalisé à plusieurs niveaux sur les plants et l'on peut observer une meilleure pénétration de la lumière dans l'ensemble de la végétation.

STRATÉGIE D'EFFEUILLAGE POUR OPTIMISER LA PRODUCTIVITÉ

- Une bonne stratégie d'effeuillage tient compte de la pénétration de la lumière à l'intérieur de la plante, toutes les feuilles peuvent être utiles à la condition qu'elles reçoivent suffisamment de lumière. Les feuilles du bas ou celles qui sont situées à l'intérieur des rangs et qui reçoivent très peu de lumière sont nuisibles.
- L'objectif est d'intercepter le plus de lumière possible par toutes les feuilles que l'on garde sur la plante.

- Il n'est pas nécessaire d'effeuiller seulement à la base du plant. On peut aussi bien enlever des feuilles à l'intérieur du plant pour favoriser la pénétration de la lumière et rendre productives les feuilles qui sont plus basses. Dans une stratégie de contrôle biologique, nous avons souvent besoin de quelques feuilles à la base du plant pour laisser la chance aux auxiliaires de compléter leur cycle vital.
- Il est préférable de répartir la captation de la lumière de haut en bas sur le plant, car les feuilles du haut qui reçoivent le plus de lumière peuvent devenir saturées pendant les périodes d'ensoleillement intense, par contre les feuilles les plus basses peuvent continuer à faire de la photosynthèse.
- Il faut aussi tenir compte de plusieurs facteurs comme la densité, la saison, la variété, l'équilibre de la plante, la grandeur des feuilles, la longueur des entre-nœuds et la stratégie de contrôle biologique.
- Le facteur le plus important à considérer, c'est la pénétration de la lumière à l'intérieur de tout le feuillage de la plante. C'est donc aussi une question d'espacement entre les plants et de positionnement des broches de support.

Équilibrer les plants de tomate avant la première récolte

Un plant de tomate bien équilibré est plus productif, il donne des fruits de meilleure qualité et il résiste mieux aux maladies fongiques. En début de saison, si l'équilibre fait défaut, plus on attend pour apporter les correctifs et plus ça devient difficile de balancer les aspects génératifs/végétatifs. Lorsque l'équilibre est établi avant la 1^{re} récolte, c'est plus facile de le maintenir tout le reste de la saison.

La tendance naturelle d'un jeune plant de tomate, c'est la croissance végétative. Par analogie, nous pourrions dire qu'une jeune plante a pour stratégie de former une grande surface foliaire et un solide système racinaire avant de porter une forte charge en fruits. Chez un jeune plant de tomate, les organes prioritaires sont dans l'ordre décroissant : **racines > feuilles et tige en croissance > fleurs et jeunes fruits**. Donc, les assimilats (produits de la photosynthèse) sont dirigés de façon préférentielle vers les racines, les feuilles et la tige. Les fleurs et les jeunes fruits (plus petits que 3 cm) sont des organes négligés pendant cette phase.

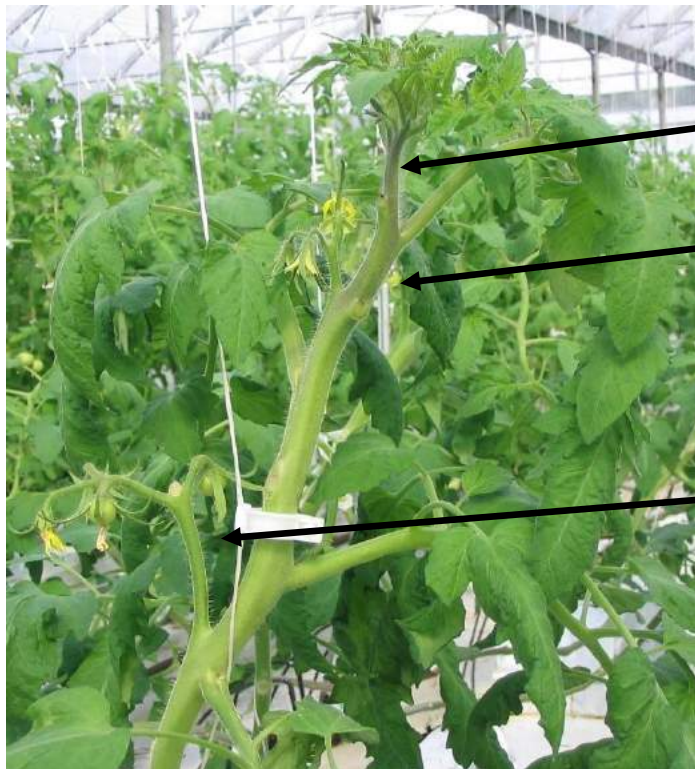
Lorsque la plantation se fait en janvier-février, alors que l'énergie lumineuse est très abondante pour un jeune plant, il n'est pas facile d'établir un bon équilibre génératif/végétatif. Très souvent, les plants se

retrouvent avec un surplus d'assimilats. La tête des plantes devient violacée et les feuilles se tordent (photo du bas à gauche). Les plants deviennent alors trop vigoureux (diamètre de tige > 12 mm) et l'équilibre bascule du côté végétatif. Il va s'en suivre la formation de grappes dressées, très longues et portant un grand nombre de fleurs (photo du bas au centre), ce qui entraîne souvent des fruits difformes ou présentant d'autres défauts de qualité. Dans les cas extrêmes, certains plants vont présenter une forme de croissance déterminée. L'apex original disparaît et est remplacé par 2 bouquets. La croissance du plant peut se poursuivre sur un drageon, à condition bien sûr qu'il n'ait pas été enlevé lors de l'entretien (photo du bas à droite).



Après la nouaison de la 4^e grappe, alors que les fruits sont plus gros et plus nombreux sur le plant, la priorité entre les organes est modifiée et elle devient dans l'ordre décroissant : **gros fruits > feuilles et tige en croissance > fleurs et petits fruits > racines**.

Pendant cette 2^e étape, entre la floraison de la 5^e et de la 8^e grappe, il est possible d'observer certains signes sur les plants qui ne sont pas souhaitables : perte de vigueur, mortalité racinaire et apparition de chloroses (carence en magnésium ou en fer). L'affaiblissement des plants est principalement causé par une mauvaise distribution des assimilats. La carence en magnésium est causée par la forte demande des premiers fruits. Pour le fer, c'est plutôt qu'il est moins bien assimilé par les racines, car les racines se développent moins bien. Ces deux carences sont aussi accentuées par un excès d'irrigation ou un pH trop élevé. Si les plants sont végétatifs en début de culture, il sera plus difficile de conduire les plants pendant la 2^e étape. Ce n'est pas seulement une question de gestion de culture à court terme, mais l'équilibre en début de saison, c'est aussi important pour la production future. La figure qui suit montre les caractéristiques d'un plant de tomate qui est trop vigoureux et trop végétatif :



Tige épaisse avec beaucoup de couleur pourpre dans la tête

Tige avec un diamètre plus grand que 12 mm

Grappes longues et droites



Feuilles enroulées dans la tête



Les fleurs s'ouvrent difficilement

CONDUITE DE CULTURE RECOMMANDÉE POUR ÉQUILIBRER LES PLANTS

- Dans un premier temps, la prise de données agronomiques, comme avec le système Tom'Pousse, aide à faire l'évaluation de l'état des plants et à mesurer l'effet des différents paramètres climatiques. Tous les détails de la technique Tom'Pousse sont donnés à l'annexe 2.
- La gestion de la T° 24 h est un élément crucial de la réussite. Jusqu'à la nouaison de la 4^e grappe, la T° 24 h doit être assez élevée pour que les plants puissent former au moins 1 bouquet par semaine. Pour le diamètre de tige, on vise entre 10,0 et 11,0 mm. Par rapport à une culture mature, il faut utiliser une T° 24 h plus élevée. Sur une base quotidienne, le rajustement à la hausse ou à la baisse se fait en fonction du rayonnement solaire. Après cette 1^{re} phase, la conduite de la T° 24 h sera faite plus normalement en tenant compte d'une vigueur un peu plus forte, soit entre 11 et 12 mm. À ce moment, la formation des nouveaux bouquets va ralentir et s'établir entre 0,7 et 0,9 par semaine.
- Une vitesse trop lente (T° 24 h trop basse) entraîne un grossissement trop important des premiers fruits des 3-4 premières grappes. Cet état conduit à un important déséquilibre. Les premières grappes de fruits deviennent un puits « sink » d'énergie disproportionnée par rapport aux autres puits : la tête du plant en croissance, les nouveaux bouquets et les racines. Ce qui entraîne souvent une perte de vigueur importante, de nouvelles grappes plus faibles et une forte perte de racines, et ce, juste avant la première récolte.
- Afin de mettre l'accent sur la croissance générative, l'écart de T° jour/nuit doit être prononcé. La régie de la température devrait aussi tenir compte de :
 - La fraîcheur du matin et la chaleur en après-midi, c'est bon pour l'aspect génératif.
 - Une T° nuit élevée augmente la respiration des plants (perte de sucres) et que c'est un bon moyen pour réduire l'excès de vigueur des jeunes plants.
- Éviter l'absence ou l'excès d'aération de la serre. Une serre trop humide exacerbe tout l'aspect végétatif des plantes. De la ventilation trop froide va donner des plants trop vigoureux avec une vitesse de croissance trop lente.
- Utiliser raisonnablement le CO₂ (400 – 600 PPM) tant que la charge en fruits n'est pas bien établie. Trop de CO₂ sur une plante qui porte peu de fruits favorise de façon excessive la

croissance de la végétation. Une fois que la plante est bien chargée en fruits sur les 4-5 premières grappes, l'utilisation du CO₂ peut être augmentée : 600 – 1 000 PPM.

- Pour la nutrition minérale, il est important de réduire l'azote en début de production. Trop d'azote, ça stimule la croissance végétative qui est déjà dominante à cette étape. De plus, trop d'azote contribue à diminuer le ratio de biomasse entre les parties racinaire/aérienne. On pourra revenir à une fertilisation normale en azote lorsque les plants seront équilibrés.
- Avant la nouaison de la 4-5^e grappe, on arrose avec une CE plus élevée, ce qui est une action de plus pour favoriser l'aspect génératif. Après, on réduit la CE et revient à une conduite normale : CE de l'apport entre 2,5 – 3,0 mS/cm; CE du drainage entre 4,0 – 4,5 mS/cm. De plus, pendant cette phase d'augmentation de la charge en fruits, c'est essentiel d'utiliser une recette qui contient un extra en potassium.
- Une bonne stratégie d'irrigation qui favorise l'aspect génératif est basée sur : « un plus grand volume de solution nutritive, moins fréquemment ». En complément, elle inclut une longue période de ressuyage en fin de journée. Le ressuyage est important pour oxygéner les racines et pour permettre un enracinement solide et bien réparti dans tout le substrat de culture.
- La conduite de culture joue aussi un rôle sur l'équilibre. Laisser de gros drageons accroît la tendance végétative des jeunes plants. Il faut faire l'entretien plus régulièrement, par exemple à tous les 4-5 jours, au lieu de 7 jours. De plus, ça fait de plus petites blessures qui cicatrisent plus facilement, ce qui réduit les risques de *Botrytis*. En début de production, tout retard au niveau du travail peut être coûteux par la suite. À l'inverse, la taille des fruits excédentaires peut être retardée pour les 4 premiers bouquets.
- Pour le palissage, il est préférable de tuteurer les plants en tournant la corde, plutôt qu'en utilisant des clips. La « pression » exercée par la corde sur la tige a un bon effet génératif.
- L'effeuillage est aussi un moyen efficace pour limiter la croissance végétative et pour établir un bon ratio feuilles/fruits. Il ne faut pas uniquement penser à enlever des feuilles dans le bas du plant, mais aussi à l'intérieur du plant. L'effet recherché par l'effeuillage est aussi d'exposer les grappes à la lumière et à la chaleur pour qu'elles se développent plus rapidement.

Chloroses des feuilles de la tête des plants ou « taches de croissance »

Ce désordre physiologique est très fréquent au printemps. On peut voir sur les jeunes feuilles, ou celles à mi-croissance, des chloroses de couleur vert pâle réparties sur toute la surface (photo ci-contre). La coloration passe du vert pâle au jaune selon l'intensité du problème. Ce désordre est souvent confondu avec une carence en fer ou en manganèse, mais il ne s'agit pas d'une « vraie » carence. C'est plutôt un manque temporaire de fer dans la feuille causé par une baisse de l'absorption, ou encore, lorsque le transport dans la plante se fait difficilement. L'ajout de fer dans la solution nutritive ou une pulvérisation foliaire ne changera rien à la situation. À court terme, ce désordre n'occasionne pas de perte de production, mais il indique qu'il y a un problème plus sérieux au niveau de la conduite de la culture et c'est le bon pour réagir. Les pertes au niveau de la production viendront par la suite si aucun correctif n'est mis en place.



Les causes possibles de ce désordre sont :

- Des plantes trop vigoureuses et trop végétatives.
- Le manque de transpiration et d'activité des plantes.
- Un pH au niveau des racines qui est supérieur à 6,0.
- Les excès d'eau :
 - Par exemple, le matin lorsque l'on amorce les arrosages trop tôt et que les plantes ne sont pas actives ça crée un excès d'eau.
 - L'après-midi, l'arrêt de l'arrosage trop tard ne laisse pas assez de temps aux plantes pour ressuyer le substrat avant la fin de la journée. Les racines se retrouvent donc dans un environnement trop mouillé pour toute la nuit.

Les solutions possibles sont :

- Réduire la vigueur et conduire le climat en mode génératif.
- Faire transpirer les plantes par le chauffage et l'aération des serres.
- Irriguer seulement quand les plantes sont actives et laisser une bonne période de ressuyage avant la nuit.

- Revoir la solution nutritive en vue d'abaisser le pH dans le substrat de culture sous la barre du 6,0 afin de favoriser l'absorption du fer.

Adapter la conduite de culture pour l'été

Le passage des conditions climatiques du printemps à celles de l'été, ça représente un stress important pour la tomate. Même si au printemps il y a toujours quelques bonnes périodes d'ensoleillement, le temps chaud n'est pas encore vraiment arrivé. Lorsqu'arrivent les jours de canicule, le développement des plants est fortement affecté s'ils n'ont pas été préparés. Il ne faut jamais attendre à la dernière minute pour modifier la conduite de culture. Il est préférable d'anticiper les grands changements climatiques et de faire une période d'acclimatement pour les plantes. Il est bon de se rappeler qu'une plante stressée est toujours plus sensible aux attaques des ravageurs et des maladies.

Afin d'acclimater les plants, il est nécessaire de modifier la conduite de culture, le climat de la serre, la stratégie d'arrosage (voir le chapitre 6) et la solution nutritive afin de maintenir un bon équilibre entre la production (aspect génératif) et la croissance (aspect végétatif).

CONDUITE DE CULTURE ET CLIMATIQUE

Facteurs agronomiques et bioclimatiques à modifier pour éviter de stresser les plants de tomate au cours du passage printemps-été :

- Augmenter la surface foliaire en fonction de l'ensoleillement. Pour l'été, l'idéal serait d'avoir une surface foliaire de 3 m² pour 1 m² de surface de serre. Avec une densité de tiges de l'ordre de 3,0 tiges/m², ça représente 19 à 22 feuilles/plant. Les avantages d'une bonne surface foliaire sont :
 - Capturer le maximum de lumière solaire.
 - Meilleure régulation de la température de la plante.
 - Meilleure « climatisation » naturelle de la serre.
- C'est au mois d'avril qu'il est préférable d'atteindre la charge en fruits maximale pour la saison. La charge maximale que l'on qualifierait d'optimale est autour de 60 fruits/m² pour la tomate charnue et 90 fruits/m² pour la tomate en grappe.

- Seuls des plants qui ont de la vigueur peuvent demeurer en équilibre. Une bonne vigueur permet de soutenir une bonne production de nouveaux fruits. L'idéal est que le nombre de fruits formés chaque semaine soit égal ou supérieur au nombre de fruits récoltés. La vigueur recommandée est de 11,5 à 12,5 mm comme diamètre de tige.
- Côté climat de serre, le principe de base c'est l'établissement de conditions qui favorisent la vigueur et l'acclimatement des plants pour des conditions extrêmes en température et en humidité. Pour endurcir les plants, il faut aérer beaucoup la serre, et ce, surtout pendant les 3-4 heures qui suivent le lever du soleil. Un début de journée frais et bien ventilé, c'est une bonne technique pour obtenir des plants endurcis, vigoureux et génératifs.
- Lorsque la radiation solaire devient importante ($> 600 \text{ watts/m}^2$), le taux d'humidité de la serre devient généralement un facteur limitant. Pour éviter les stress hydriques, la gestion de la ventilation devrait viser à ce que la descente de l'hygrométrie soit égale ou inférieure à 5 % du taux d'humidité relative par heure. Idéalement, le taux d'humidité ne devrait jamais descendre en bas de 60 %, ou encore mieux, le déficit hydrique ne devrait pas être au-dessus de 7 g/m^3 .
- Avec des plants vigoureux et bien équilibrés, l'enrichissement en CO_2 peut être : 800-1000 ppm lorsque la ventilation est faible, 400-450 ppm lorsque la ventilation est modérée et lorsque la ventilation est importante, il est recommandé d'arrêter l'enrichissement de l'air avec le CO_2 .

LE PLANT IDÉAL POUR L'ÉTÉ

Si on retrouvait sur un plant toutes les caractéristiques agronomiques idéales pour maximiser la productivité pendant l'été, à quoi ce plant ressemblerait-il? Dans le tableau qui suit, les valeurs indiquées sont pour des variétés de type charnu.

Croissance hebdomadaire	18 à 24 cm par semaine. La croissance devrait être uniforme et régulière d'une semaine à l'autre. La distance des entre-nœuds doit être égale, sans étiolement.
Diamètre de tige (point de croissance)	11,5 à 12,5 mm. L'objectif est toujours d'avoir un plant vigoureux et génératif. On devrait voir une légère coloration pourpre sur la tige de la tête. C'est un bon signe qui indique que la plante a de l'énergie en réserve. Cette réserve est particulièrement utile pendant une vague de chaleur où il est difficile de contrôler la T° 24 h.
Longueur d'une feuille mature	43 à 48 cm. La longueur est importante, mais c'est la surface foliaire qui compte le plus. Les feuilles doivent avoir des folioles rapprochées, qui ne se recoupent pas et qui ne sont pas trop distancées.
Nombre de feuilles/plant	19 à 22 feuilles. La surface foliaire est importante pour climatiser la serre. L'objectif est de 3 m ² de surface foliaire pour 1 m ² de plancher. La densité de tiges optimales est de 3,0-3,2 tiges/m².
Distance bouquet en fleur-apex	15 à 18 cm. En été, lorsque la floraison se fait trop proche de l'apex (moins de 10 cm), c'est souvent un signe que les plants sont trop génératifs. Ces grappes risquent d'être plus faibles ce qui donnera des fruits de moindre qualité et de calibre plus petit.
Vitesse de nouaison semaine	0,8 à 0,95 bouquet par semaine. La meilleure situation c'est d'obtenir une vitesse de nouaison stable et qui est fonction de la sommation du rayonnement global. Une vitesse régulière permet de construire un plant bien équilibré de la tête à la base. La vitesse de récolte est en quelque sorte le reflet de la vitesse de nouaison, mais de 7 à 8 semaines plus tard.
Nombre de fruits développés par m ² /semaine	9 à 10 fruits/m² par semaine. En moyenne, la sommation du rayonnement global est entre 1 900 à 2 000 J/cm ² . En été, c'est préférable de conserver une moyenne de 4 fruits par grappe si l'on veut que le calibre reste autour de 200 g au moment de la récolte.
Nombre de fruits totaux	55 à 65 fruits/m². S'il n'y a pas assez de fruits, il va manquer de « sink » par rapport à la capacité de production de sucres (source). La plante va s'adapter à cette baisse de demande en sucres en réduisant son efficacité photosynthétique. De plus, les feuilles vont devenir plus petites. Par contre s'il y a trop de fruits, ce sera très difficile de maintenir une bonne vigueur. L'affaiblissement des plants va aussi se traduire par une baisse du poids des fruits.
Calibre moyen	190 à 220 g. C'est le calibre normal pour les variétés charnues.
Production	1,7 à 2,3 kg/m²/semaine. La production des mois de juin et de juillet a été construite en avril et mai.
Consommation	Supérieure à 2 fois la sommation du rayonnement global (consommation > 2 SRG). Exemple, si la sommation de la radiation globale (SRG) moyenne est autour de 2 000 J/cm ² /jour. La consommation moyenne devrait être autour de 4 litres/m² et plus.



Manque de vigueur en été

Si les plants manquent de vigueur en été, la productivité risque d'être grandement diminuée. La qualité des fruits va aussi être fortement diminuée. Il est très important de savoir identifier la cause pour pouvoir corriger la situation le plus rapidement possible.



CAUSES POSSIBLES D'UN MANQUE DE VIGUEUR

- Charge en fruits trop élevée en fonction du rayonnement solaire. On peut se faire prendre en été par des conditions nuageuses qui peuvent s'étirer sur 2-3 semaines. Dans pareil cas, il faut réagir rapidement et ajuster la charge en fruits en conséquence. Il en va de même pour la T° 24 h qui est à réduire conséquemment au rayonnement solaire plus faible. Une T° 24 h trop élevée va faire affiner la tête des plants (perte de vigueur).
- Débuter la journée avec une température trop élevée. À partir du lever du soleil jusqu'à 9-10 h, il est important d'essayer de maintenir la température la plus basse possible, tout en demeurant au-dessus de la température de point de rosée pour éviter la condensation. Une température fraîche en début de journée stimule la vigueur des plants de tomate. Il en résulte une bonne floraison et des têtes fortes avec des entre-nœuds courts.
- La gestion de la ventilation est aussi importante. Un excès d'aération (ventilation) de la serre en deuxième partie de journée réduit beaucoup l'humidité de la serre ce qui stresse davantage les plants. Un excès de ce genre de stress peut provoquer une diminution de la transpiration. Cette baisse a un effet négatif sur la capacité de refroidissement naturel des plantes et il va en résulter des plants plus faibles.

CORRIGER LE MANQUE DE VIGUEUR

La perte de vigueur est la conséquence de plusieurs facteurs. Dans le but d'arrêter l'affaiblissement des plants et idéalement favoriser la reprise de la vigueur, il y a plusieurs moyens à envisager :

- La conduite de culture peut jouer grandement sur l'équilibre des plantes. C'est principalement dans la gestion du nombre de fruits et du nombre de feuilles que le producteur peut influencer le rapport génératif/végétatif.

- Réduire la charge en fruits. Il est possible de diminuer le nombre de fruits par bouquet. Ceci est bon pour une perte de vigueur modérée. Si les plants sont très faibles, il est carrément préférable d'enlever un bouquet.
- Accroître la surface foliaire en réduisant l'effeuillage, mais en conservant un drageon parapluie avec 2 feuilles sur chaque plant.
- Réduire la T° 24 h en travaillant principalement sur la T° nuit, car en été c'est le seul moyen d'aller chercher de la fraîcheur. Les volets devraient donc rester ouverts
- La gestion de l'hygrométrie est un facteur déterminant du climat de la serre en été. Une humidité de nuit trop élevée rend les plants paresseux. Le jour, une humidité trop basse cause un stress hydrique aux plantes et de plus ça ne permet pas un refroidissement adéquat de la serre. La nuit, c'est le temps pour aérer au maximum. Le jour lorsque le taux d'humidité est bas, surtout en après-midi, il faut limiter l'ouverture des volets pour maintenir le plus d'humidité possible dans la serre.

Couper un bouquet pour redonner de la vigueur

Enlever un bouquet complet permet de réduire rapidement le nombre de fruits. Lorsque les plants sont faibles, c'est un bon moyen pour redonner de la vigueur aux têtes. À court terme, la reprise de vigueur va permettre aux plants de mieux supporter, s'il y a lieu, des conditions très ensoleillées et chaudes. Des plants plus forts vont produire des bouquets plus robustes qui vont aussi avoir une meilleure nouaison. Cet effet sera encore plus marqué sur le 2^e bouquet qui suivra l'égagage. Le 1^{er} ayant été initié alors que les plants n'avaient pas encore repris de la vigueur.



Cette technique aura aussi un effet à plus long terme. Il y aura bien sûr une baisse de production 7-8 semaines après. Ce qui peut être une décision stratégique pour éviter une période de forte disponibilité sur le marché et de prix inférieur. Si les plants reprennent une bonne vigueur, ils pourront produire à

nouveau des bouquets de bonne qualité. Alors que lorsqu'ils étaient faibles, la production de nouveaux fruits de qualité était limitée. Le trou de production sera suivi par des récoltes de fruits de meilleur calibre et de qualité supérieure. En ce qui concerne la stratégie de culture, il peut être intéressant de déplacer de la production de meilleure qualité vers des périodes plus intéressantes pour les prix. Cependant, si cette action est faite au mauvais moment, ça pourrait briser l'équilibre normal feuilles/fruits. C'est alors que le risque d'obtenir de la pourriture apicale sur les nouvelles grappes est plus élevé. Il faut juste en être conscient afin de prendre la bonne décision au bon moment.

Étêtage en été

Il peut être nécessaire de terminer un cycle de culture en plein été. C'est le cas du calendrier de production de la tomate avec éclairage artificiel. Habituellement, on termine un cycle de production par l'arrêt de la croissance de l'apex des plants de tomate, ce qui est communément appelé étêtage.

Au moment de l'étêtage, l'équilibre des plants est un facteur déterminant. Si les plants sont trop végétatifs (beaucoup de feuilles et peu de fruits), les fruits se développeront plus lentement et resteront plus petits. De plus, la repousse des drageons sera abondante. Lorsque l'on étête des plants qui sont bien reproductifs, les fruits se développent rapidement et atteignent un meilleur calibre. Comme les fruits vont chercher plus de sucres, il y en a moins pour la croissance de nouveaux drageons. L'étêtage en été se fait en gardant 2 à 4 feuilles au-dessus de la dernière grappe. Idéalement, la dernière grappe que l'on conserve est déjà nouée. Lorsque l'on étête au-dessus d'une grappe qui n'est pas encore en fleurs, le grossissement des fruits est retardé.

En été, comme la lumière est importante, un mois avant l'étêtage il est important de construire une bonne surface foliaire, quitte à garder des drageons parapluies. De plus, on ajuste la taille des 2-3 derniers bouquets. Il est possible de conserver plus de fruits que la normale. On peut aller jusqu'à 6 à 7 fruits/grappe.



Adapter la conduite de culture pour l'automne

En considérant le rayonnement solaire global, le potentiel de production au Québec, du 1^{er} septembre au 30 novembre se situe entre 7 et 12 kg/m². Ce potentiel est plus ou moins élevé selon la qualité de la serre et selon que l'on utilise ou pas du CO₂. Si l'on poursuit les récoltes en décembre, on ira chercher 0,8 à 1,5 kg/m² de plus. Il ne sert à rien d'espérer obtenir plus de rendement en essayant d'augmenter le nombre fruits, car le potentiel de production est limité par la lumière. Si la charge en fruits est trop grande pour l'automne, le rendement total sera le même, mais le calibre des fruits sera juste plus petit. Il faut ajuster la charge en fruits en fonction de la date d'étêtage, donc de la lumière disponible en automne, de la disponibilité du CO₂ et du calibre désiré à la récolte.

Pour les producteurs qui désirent récolter jusqu'à la fin décembre, il peut être intéressant de réduire la densité des plants afin d'utiliser plus efficacement le peu de lumière qui est disponible en automne. En été, la densité est entre 3,0 à 3,2 pl/m². En automne, on pourrait avoir entre 2,2 et 2,4 pl/m² sans affecter la productivité. À 3,0 pl/m², la distance entre les têtes est d'environ 40 cm et à 2,4 pl/m², c'est environ 45 cm. Avec 50 à 55 cm de distance entre les têtes, la pénétration de la lumière est meilleure et les plants sont plus efficaces à transformer la lumière en fruits. Il y a aussi beaucoup moins de compétition pour la lumière entre les plants, ce qui donne une croissance plus uniforme dans la serre.

Pour passer d'une densité de 3,0 à 2,4 pl/m², il est nécessaire d'étêter sur le même rang 1 plant sur 5. Lors du prochain abaissement des tiges, on espacera les têtes à 50 cm. Les plants étêtés sont abaissés plus bas que les autres afin de maintenir la même hauteur de récolte que les autres. Lors de l'effeuillage, il faudra aussi traiter les plants étêtés différemment pour ajuster l'équilibre feuilles/fruits. Quels sont les avantages de réduire la densité :

- Les plants restants reçoivent plus de lumière et restent naturellement plus génératifs. Il est aussi plus facile de maintenir une bonne vigueur et d'obtenir des grappes fortes. La nouaison des fruits est meilleure, ce qui donne des fruits de meilleur calibre et de qualité supérieure. Donc, les rendements totaux ne sont pas affectés.
- En réduisant la surface foliaire de la serre, on va aussi réduire la production d'humidité, on pourra ainsi économiser sur le chauffage servant à la déshumidification et à l'activation des plants.

- Diminution des coûts de main-d'œuvre, car il y a moins de plants à attacher. De plus, il y aura une économie au niveau de l'effeuillage.

Les conditions climatiques qui caractérisent l'automne et qui ont une influence sur la tomate sont :

- La durée du jour raccourcie.
- Le rayonnement diminue. Non seulement la quantité de rayonnement solaire diminue, mais la pénétration de la lumière à l'intérieur de la serre est aussi grandement réduite. L'angle du soleil d'automne par rapport à la serre fait en sorte que la réflexion des rayons solaires est plus importante.
- Dû à l'espace occupé par une grande quantité de racines (actives et mortes), les propriétés physiques (capacité de rétention en eau et macroporosité) du substrat de culture ont été modifiées.
- Les nuits sont plus froides.
- L'aération des serres est moins importante, ce qui donne un taux d'humidité plus élevé dans les serres.
- Globalement, les conditions environnantes sont plus propices à l'éclosion des maladies fongiques et orientent les plants de tomate vers le développement végétatif.

L'état des plants a évolué en cours de saison. Les tiges sont très longues. Le système racinaire est plus âgé et il est moins « actif » qu'en début de culture. Globalement, les plantes répondent plus lentement aux changements climatiques et sont moins vigoureuses. La conduite de culture en automne vise les objectifs suivants :

- Conserver la vigueur nécessaire pour former des fruits de bonne qualité jusqu'à la fin de la saison.
- Maintenir un bon équilibre entre le développement génératif et végétatif
- Maintenir un taux de croissance régulier.
- Prévenir la menace des maladies fongiques.

CONDUITE DE CULTURE ET CLIMATIQUE

- Il faut modifier le ratio feuille/fruit pour s'ajuster à la baisse de la radiation. C'est le temps de passer à un objectif de 15-17 feuilles par plant. En automne, il est souvent bénéfique d'enlever des feuilles intermédiaires situées dans la canopée, plutôt que de toutes les enlever dans le bas des plants. La pénétration de la lumière dans tout le couvert végétal est grandement améliorée

et en fin de saison ça compte. L'effeuillage dans la tête des plants peut aussi être pratiqué pour stimuler le développement génératif des plants. La modification de l'effeuillage peut avoir un impact négatif sur l'éclosion des auxiliaires de lutte biologiques, il faudra alors compenser par des introductions plus importantes.

- La densité idéale pour l'automne est autour de 2,4 tiges/m² et moins. Une trop forte densité affecte la vigueur des plantes, le calibre et la qualité des fruits. La pénétration de la lumière et le mouvement de l'air dans la canopée végétale seront bien meilleurs avec une faible densité de tiges. C'est bon pour le grossissement des fruits et pour réduire les maladies fongiques.
- Les nuits sont maintenant plus froides, la relance matinale du chauffage est importante. Une bonne relance du chauffage avec juste un peu d'aération va créer un climat qui permettra d'éviter la condensation (maladies fongiques) et d'activer (évapotranspiration) les plantes.
- L'ouverture des volets d'aération est moins grande, on peut maintenant optimiser l'enrichissement en CO₂.
- Rapprocher la température consignée pour le chauffage à celle fixée pour l'aération. C'est une gestion climatique plus « agressive », mais c'est très efficace pour éviter un climat lourd.

PRÉVENIR LES PROBLÈMES PHYTOSANITAIRES

La gestion de l'humidité est le point clé de la prévention des problèmes fongiques. Il faut éviter à tout prix la condensation, les ambiances trop humides pendant la nuit, l'air stagnant à la base des plantes et les journées où les plantes restent inactives. Si l'*Oïdium* infecte déjà les plants, on poursuit rigoureusement et même renforce l'application des fongicides. Quant au *Botrytis*, il est important de bien inspecter les nœuds d'effeuillage, les vieilles rafles laissées sur les plants et élaguer tous les chancres le plus rapidement possible. La brûlure marginale est à éviter. En automne, les mouches blanches vont être avantagées par rapport aux agents de lutte biologique. Trois raisons expliquent ce phénomène : 1- le rayonnement solaire diminue; 2- il y aura moins de feuilles par plante; 3- la température de la serre sera plus basse. Dans un tel contexte climatique, les aleurodes vont facilement prendre le dessus sur *Encarsia* et *Eretmocerus*, et dans les mois qui vont suivre, les problèmes vont commencer. Il est recommandé d'introduire plus d'auxiliaires dans les prochaines semaines pour que la lutte biologique fonctionne jusqu'en décembre.

Adapter la conduite de culture pour réduire la moisissure grise (*Botrytis*)

Dès qu'il a quelques tissus de plantes présentant des spores de *Botrytis* dans une serre, c'est largement suffisant pour infecter toute une culture. Dès les premiers signes, il est prioritaire de tout mettre en œuvre pour limiter la dispersion des spores. Le *Botrytis* a la capacité d'infecter la tomate et de demeurer latent (sans symptôme externe) pendant un certain temps. Dès que les conditions seront propices pour son développement, les symptômes vont devenir visibles. Il est donc crucial d'agir rapidement. Le nettoyage des chancres sur les tiges et l'application de fongicides vont permettre de limiter les dégâts. Mais, c'est vraiment en adaptant la conduite de culture que l'on pourra contrôler efficacement la moisissure grise. Voici quelques recommandations :

- Effeuillez en début de journée. Mais, il faut toujours attendre que les plants transpirent. Il est recommandé de s'arrêter suffisamment tôt avant le coucher du soleil pour que les plaies puissent s'assécher avant la nuit.
- Éviter les situations climatiques qui causent une forte pression à l'intérieur des vaisseaux de la plante (forte pression racinaire). Cette pression se crée lorsqu'une plante ne transpire pas ou très peu et qu'elle absorbe quand même de l'eau par ses racines. Qu'est-ce qui se passe alors? L'eau cherche toujours à sortir par les pores de la feuille (stomates) et les blessures. Si les stomates sont fermés, elle empruntera d'autres voies de sortie comme les blessures de plaies d'effeuillage et de taille de grappes fraîches ou encore les hydathodes (pores localisés sur le contour des feuilles). Lorsque la gouttelette d'eau sort partiellement de ces plaies, elle capte les spores de *Botrytis* qui sont dans l'air. Dès que la plante se met à transpirer, elle « ravale » cette gouttelette chargée de spores et le *Botrytis* peut se développer bien à l'abri à l'intérieur des tissus de la plante.
- Irriguer plus tard en matinée lorsque le plant a commencé à transpirer et terminer plus tôt en évitant que le substrat soit gorgé et que le plant soit « congestionné » d'eau le lendemain matin.
- Conserver moins de feuilles par plant et ne plus laisser de feuilles au sol.
- Garder la surface du sol la plus sèche possible, éviter les fuites d'eau (lignes d'irrigation) et l'écoulement d'eau en dessous des gouttières de la serre.

- Chauffer, ventiler, évacuer l'air humide, admettre de l'air frais moins chargé d'eau et le chauffer, ce qui permet de maintenir une humidité relative adéquate. Éviter la ventilation « froide ».
- Prévenir la condensation sur les plants en début de journée en ne laissant pas monter la température de l'air trop rapidement.
- Nettoyer bien tous les chancres qui se forment sur les tiges en enlevant les parties infectées. Ces chancres mal nettoyés sont comme le cancer qui ronge le plant, lentement mais sûrement. Si vous réussissez à enlever les parties malades, il y a plus de chance que le plant survive sauf s'il ne reste qu'une faible partie de tige. Badigeonner ensuite la partie nettoyée avec un produit homologué pour cet usage.
- Enlever les rafles (tiges de grappe) déjà jaunies et contaminées par le *Botrytis*.
- Appliquer préventivement des biofongicides et des agents de lutte biologique homologués pour cet usage.

Bien terminer la culture en automne

L'étêtage des plants est à faire 8 à 12 semaines avant la date de la dernière récolte désirée. Plus on étête tard en automne, plus la durée à considérer est longue. Il y a aussi un certain nombre de choses à faire pour préparer les plants avant l'étêtage et choisir le bon stade de développement du dernier bouquet que l'on conserve. Les étapes à suivre et la conduite de culture recommandée sont :

- 2-3 semaines avant l'étêtage, on met l'accent sur l'aspect génératif de la culture. Les derniers bouquets qui seront noués doivent être génératifs et vigoureux. Il sera difficile d'obtenir des fruits de bon calibre sur des grappes dont la nouaison aura été mauvaise. Le secret pour terminer la saison avec des fruits de première qualité, c'est de partir avec des grappes fortes.
- Au moment de l'étêtage, l'équilibre des plants est un facteur déterminant. Si les plants sont trop végétatifs (beaucoup de feuilles et peu de fruits), les fruits se développeront plus lentement et resteront plus petits. De plus, la repousse des drageons sera abondante. Lorsque l'on étête des plants qui sont bien reproductifs, les fruits se développent rapidement et atteignent un meilleur calibre. Comme les fruits vont chercher plus de sucres, il y en a moins pour la croissance de nouveaux drageons. On y gagne donc aussi au point de vue du travail. En matière de

chauffage, des plants végétatifs vont coûter plus cher. Encore une fois, un bon équilibre au moment de l'étêtage permet de réduire les coûts.

- En automne, la lumière devient rapidement le facteur limitant. Pour cette raison, on ne peut pas planifier cette opération trop tard. Si on attend trop tard pour étêter, le calibre des fruits sera plus petit et le rendement total restera sensiblement le même. Il faut aussi tenir compte des caractéristiques de son système de production, entre autres de la transmission lumineuse et de l'injection de CO₂.
- L'étêtage devrait se faire en gardant 1 à 2 feuilles au-dessus de la dernière grappe. Idéalement, la dernière grappe que l'on conserve est déjà nouée. Lorsque l'on étête au-dessus d'une grappe qui n'est pas encore en fleurs, le grossissement des fruits est retardé.
- Pour les plants qui sont étêtés, l'effeuillage devrait suivre les règles suivantes :
 - ⇒ Les 2 grappes du bas doivent être bien dégagées.
 - ⇒ Dans le haut du plant, conserver seulement 2 feuilles par grappes, 8-10 feuilles matures par plant c'est suffisant.
 - ⇒ À mesure que l'on récolte des fruits, on poursuit l'effeuillage, si nécessaire, on peut descendre jusqu'à 6 feuilles par plant.
- Même si les plants sont étêtés, on continue à contrôler l'équilibre. Si la végétation est trop importante par rapport à la charge en fruits, la qualité des fruits peut être fortement affectée. Une culture trop végétative donnera plus de fruits avec du microfendillement et des fruits avec des défauts de mûrissement. Les plants deviennent vert très foncé après l'étêtage. C'est un processus normal, mais on évite que ce changement se fasse trop brusquement. Une bonne stratégie d'effeuillage permet de maintenir l'équilibre.
- L'ajustement de la T° 24 h est fait en fonction de la charge en fruits et de leurs croissances. Lorsqu'il reste 5-6 grappes sur une plante, ce n'est pas bon de trop diminuer la T° 24 h (en bas de 17,0 °C). Une T° 24 h trop basse va ralentir la croissance des derniers bouquets. La maturation des fruits sera très longue, et à la récolte, la qualité ne sera pas très bonne. Par contre, s'il ne reste que 3-4 grappes par plant, il est possible de conduire la culture avec une T° 24 h plus basse et ainsi chercher à maximiser le calibre des derniers fruits à récolter.

4.3 SUIVI DE CULTURE ET INDICATEURS AGRONOMIQUES

La conduite d'une culture de tomates en serre, c'est un peu comme la conduite automobile. Il faut toujours connaître la vitesse de la voiture lorsqu'elle roule. Il faut savoir freiner et accélérer. Il est nécessaire de se référer au tableau de bord pour regarder régulièrement l'odomètre, etc. Pour la conduite de la tomate de serre, il y a un exercice d'observation et de mesures nécessaires en premier lieu et il faut construire son propre tableau de bord. Le tableau de bord est rempli d'indicateurs. Les indicateurs de performance sont nombreux chez la tomate de serre. La méthodologie Tom'Pousse aide le producteur à lire ses plants. Cette méthode oblige le producteur à observer et mesurer les paramètres spécifiques de croissance et de développement du plant de tomate. Elle aide le producteur à adapter les réglages de climat et le travail sur les plants, en tenant compte des mesures. Les interventions se font typiquement à l'échelle de la semaine avec Tom'Pousse, et le suivi peut se faire quotidiennement. Tom'pousse aide à trouver les facteurs limitants de la productivité.

Le secret qui mène à une culture de tomate pleine de succès réside dans la capacité du producteur à balancer la croissance végétative et reproductrice. Un plant végétatif utilise les produits de la photosynthèse pour faire pousser encore plus le plant (de la tige et des feuilles) alors qu'un plant génératif utilise ces produits pour faire pousser plus de fruits (plus d'effort mis dans la floraison, les bourgeons floraux et les fruits). Le calibre des fruits et le rendement diminuent si vos plants de tomate deviennent soit trop végétatifs ou trop reproductifs. Les plants de tomate produisent de la croissance végétative et reproductrice en même temps, alors que les épinards eux, ont une croissance végétative une journée et reproductrice le jour suivant.

Il existe des indices qui proviennent de vos plantes pour rapporter l'état de leur croissance. Qu'est-ce que vous avez besoin de regarder? Le chapitre 2 présente en détail les caractéristiques des plantes qui aident à définir la croissance végétative et reproductrice. Pour évaluer si vos plants sont dans l'état végétatif, regarder les premiers 18 cm. Remarquez-vous une tige de gros diamètre 18 centimètres sous l'apex? Pour utiliser cet indice afin d'évaluer la croissance, vous aurez besoin de noter comment les indices changent durant la saison, et il y a des différences variétales dans le diamètre des tiges (grappe versus cocktail). D'autres indices que la plante est végétative sont des feuilles épaisses et des feuilles tordues, et des fleurs pâles sur la grappe, longue grappe et dressée vers le haut. Des plants de tomate végétatifs ont des fleurs qui peuvent être pâles, jaune pâle, les fleurs ouvrent bas dans la plante, loin de l'apex. Les fruits sont petits, difformes et lents à mûrir.

Le tableau suivant dresse une liste des actions possibles qui dirigent la conduite de la plante dans la direction désirée. (plant mature/pleine charge en fruit)

Action sur les plants de tomate	Effet recherché sur les plantes	
	Accroître le caractère génératif	Accroître le caractère végétatif
Densité de plantation	Basse	Élevée
Accroître la densité au printemps	-- -	Oui
Nombre de feuilles par plant	Bas (14 et -)	Élevé (18 et +)
Effeuilage d'entretien	Enlever + 3 feuilles	Enlever 1-2 feuilles
Zone d'effeuillage	Effeuilier dans le haut du plant	Effeuilier dans le bas
Enlever les drageons	Peu de temps entre les passages	Retarder le passage
Conserver un drageon parapluie	Non	Oui
Tuteurage	Peu de temps entre les passages	Retarder le passage
Tuteurage	Tourner les tiges autour de la corde	Utiliser des clips
Charge en fruits sur un plant vigoureux	Élevé	Faible
Taille des bouquets (tomate charnue)	Conserver 4-5 fruits/grappe	1-3 fruits/grappe
Élaguer un bouquet	-- -	Oui

4.4 SUIVI D'APRÈS CULTURE

À la fin de la saison et avant la prochaine plantation, il est important de bien nettoyer la serre et de remettre en ordre tous les équipements de production. Ce nettoyage a pour objectif de rendre la serre la plus lumineuse possible tout en réduisant les risques phytosanitaires pour la prochaine culture en détruisant les spores de champignons, les bactéries et les insectes. Ça vise aussi à remettre à niveau la performance de tous les équipements de la serre, comme entre autres le système de chauffage. En l'absence de plants, c'est plus facile de corriger tous les défauts qui ont été identifiés pendant la culture, par exemple tout ce qui concerne la distribution uniforme du chauffage et de la ventilation. Voici une liste succincte (voir l'annexe 3 pour une liste détaillée) des opérations à faire à la fin d'un cycle de culture :

La serre

- Nettoyer le toit, les structures et le sol à l'eau ou avec de l'eau savonneuse. Utiliser votre système de pulvérisation ou un nettoyeur à haute pression. Ne pas oublier de faire aussi l'extérieur de la serre. Le secret c'est d'utiliser beaucoup d'eau, entre 30 à 50 litres par 100 m². Un bon nettoyage permet de dépolluer et d'éliminer les résidus de la culture précédente, mais aussi les ravageurs et les agents pathogènes qui se cachent un peu partout dans la serre et sur sa structure.
- Pour la désinfection, consultez le bulletin d'information du Réseau d'avertissements phytosanitaires (MAPAQ)¹⁰.
- Là où vous avez observé des problèmes d'air « stagnant » au cours de la dernière saison, ajoutez un ou des ventilateurs.
- Ajuster l'ouverture et la fermeture des ouvrants.
- Nettoyer et graisser les crémaillères, les ventilateurs, les moteurs, etc.
- Protéger les tuyaux de chauffage et les structures de serre contre la corrosion.

Le système de chauffage

- Vérifier l'efficacité des bouilloires, des échangeurs de chaleur ou des fournaies.
- Uniformiser et équilibrer la distribution de la chaleur dans toute la serre.
- Isoler certains murs et tuyaux de chauffage, en ajouter là où il y a un manque.
- Vérifier les valves de mélange.

¹⁰ Lambert, L. Le nettoyage et la désinfection des serres en fin de saison. Réseau d'avertissements phytosanitaires, MAPAQ. Réseau cultures en serres. [http://www.agrireseau.qc.ca/rap/?s\[0\]=0-938-1181-1183-1732&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/rap/?s[0]=0-938-1181-1183-1732&page=1)

Le système d'irrigation

- Pour éviter un problème d'obstruction des gouteurs, nettoyer tout le réseau de distribution de la solution nutritive.
- Traitement avec de l'eau de Javel pour éliminer la matière organique (algues, bactéries et champignons), suivi d'un rinçage avec de l'eau.
- Traitement avec de l'acide pour éliminer les résidus minéraux, suivi d'un rinçage à l'eau.
- Avant de faire le nettoyage de son réseau de distribution, il très important de s'informer auprès de son fournisseur, car certains types de gouteurs peuvent ne pas être résistant à l'acide ou à l'eau de Javel.
- Nettoyer et désinfecter aussi l'extérieur du réseau. Ne pas oublier la désinfection des pics qui sont placés dans le substrat de culture, surtout si vous avez eu des problèmes de chancre bactérien, de Pythium ou de Fusarium.
- Nettoyer et vérifier les électrovannes.
- Remplacer les gouteurs bouchés et réparer les fuites.
- Nettoyer les gouttières de culture.
- Améliorer les bacs de collecte et de mesure du drainage.

Les équipements et les outils de production

- Refaire l'alignement des fils de fer. Pour une serre standard de 6,4 mètres de large, l'espacement normal est entre 60 et 70 cm.
- Replacer et mettre au niveau les rails sur lesquels circulent les chariots.
- Nettoyer et désinfecter tous les équipements : bacs de récolte, sécateurs, couteaux, etc.

- Faire l'entretien des chariots de récolte et des chariots électriques.
- Vérifier et ajuster les systèmes de pulvérisation : poudreuse, pulvérisateur à faible volume (nébulisateur et « Pulsfog »), et système hydraulique.
- Calibrer et nettoyer les équipements de mesure : cages aspirantes, sondes de T° air et d'humidité, pH-mètre, conductivimètre, etc.

CHAPITRE 5

CONDUITE CLIMATIQUE

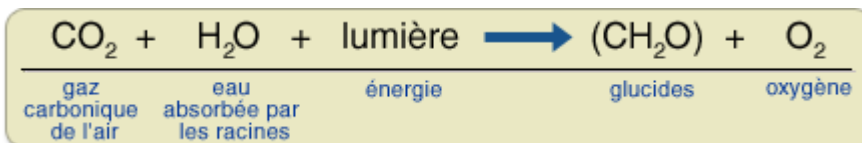
5.1 LES PRINCIPES DE BASE EN CONDUITE CLIMATIQUE

Un plant de tomate est le reflet parfait de l'environnement dans lequel il se développe. L'environnement c'est : la lumière, le climat de la serre (T° air, l'humidité et le CO_2), la façon de faire l'entretien des plants, le type de substrat (NFT, plein sol, laine de roche, etc.) et la façon de faire les arrosages. On peut expliquer l'état actuel d'une culture de tomates par l'environnement des derniers jours. À part la lumière, sauf si on utilise de l'éclairage d'appoint en hiver, c'est le producteur qui « contrôle » tous les paramètres qui vont constituer l'environnement dans lequel les plants de tomate vont se développer. Le système de culture sous serre est un système dynamique qui évolue et qui se modifie constamment dans le temps en fonction de la lumière et de l'état d'équilibre de la culture.

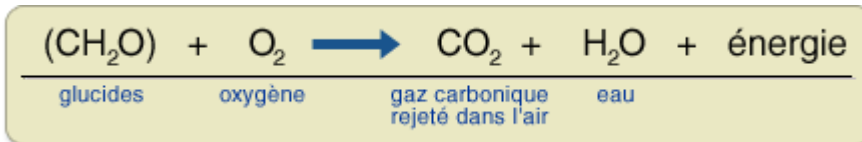
Objectif → Maximiser l'utilisation de la lumière et le transfert des sucres vers les fruits

Le rayonnement solaire se compose de plus de 50 % de radiations thermiques (infrarouges), d'environ 45 % de « lumière » utile pour les plantes (PAR) et d'une petite portion de radiations ultraviolettes. Il y a donc plus de 50 % du rayonnement solaire qui contribue à chauffer la serre. Lors d'une belle journée du mois de mai, le rayonnement global peut facilement dépasser 800 W/m^2 entre 11 h et 14 h. Supposons une serre qui laisserait pénétrer 70 % de la lumière solaire, il y aura dans la serre 560 W/m^2 ($800 \times 0,7$) en énergie. Cette quantité d'énergie est équivalente à 14 radiateurs électriques de 1 000 watts par 25 m^2 de serre.

Photosynthèse



Respiration



Il est bien connu que la température joue un rôle déterminant sur le processus de photosynthèse, sur la respiration et le taux de développement des plants de tomate. Mais de façon plus spécifique, la température influence aussi la répartition des photoassimilats vers les organes végétatifs ou reproductifs. La température est donc le paramètre de base de la conduite climatique des serres. Afin de bien ajuster les consignes de température en vue de maximiser le rendement, une bonne compréhension de l'influence de la température sur la tomate est un atout essentiel.

Gestion de la température en fonction de la lumière

C'est la T° 24 h qui règle le taux de croissance (vitesse de croissance) et la vigueur de la tomate. La vigueur peut être évaluée objectivement par la mesure du diamètre de tige pris au point de croissance. La deuxième chose à considérer, c'est qu'il y a une relation entre la T° 24 h et la sommation du rayonnement global (SRG). Pour les tomates de type charnu et en grappe (gros calibre), les éléments à considérer pour évaluer la T° 24 h sont :

- La partie végétative (tige, feuilles et racines) d'un plant pour se maintenir en bon état requiert un minimum quotidien de 125 J/cm²
- Chaque bouquet entièrement noué requiert un autre 125 J/cm²
- La T° 24 h de base est de 17,5 °C
- Pour chaque 300 J/cm² de rayonnement global reçus en plus, il faut augmenter la T° 24 h de 1 °C.

On considère ces éléments comme des points de repère permettant d'établir les consignes d'un ordinateur de contrôle climatique. Bien entendu, ça demande des ajustements à la hausse ou à la baisse selon le type de serre (transmission lumineuse), la densité de plantation, la charge en fruits et la quantité de CO₂ utilisée. Voici un exemple de calcul pour une SRG journalière de 1 400 J/cm² :

- 4,5 grappes avec des fruits = ~ 563 J/cm²
- Partie végétative = 125 J/cm²
- $1\,400 - 688 (563+125) = 712$ J/cm²
- $712 / 300$ J/cm² pour 1 °C = 2,4
- $17,5 + 2,4 = 19,9$ °C

Gestion de la température et de l'équilibre génératif/végétatif

Pour influencer l'allocation des sucres, soit vers la portion générative (fleurs et fruits) des plants de tomate ou vers la portion végétative (feuilles, tige et racines), il faut principalement gérer la température horaire et les écarts thermiques entre le jour et la nuit.

Il y a au moins 5 périodes durant une journée à considérer :

- Période de préjour : un peu avant et après lever du soleil
- Période de jour : entre le lever et le coucher du soleil
- Période de forçage thermique « boost » : un peu avant midi jusqu'au milieu de l'après-midi
- Période de prénuite : un peu avant et après le coucher du soleil
- Période de nuit : entre le préjour et la prénuite

La température a une influence spécifique sur l'équilibre selon le moment du jour. La figure 2 montre de quelle façon l'équilibre peut être affecté selon le moment de la journée.

L'effet de la température sur la plante peut être différent selon le niveau de rayonnement global, le gaz carbonique (CO₂) et du taux d'humidité. D'autres facteurs sont à considérer comme le stade de développement et la variété. Mais avant de voir l'interrelation de la température avec tous les autres paramètres, il est préférable de clarifier l'effet intrinsèque de la température. De plus, avant d'aborder ce sujet, il est nécessaire de diviser le concept global de température en différents éléments. Pourquoi? Parce qu'une hausse ou une baisse de la température peut provoquer une réponse différente selon que l'action est appliquée en début de journée, en mi-journée, en fin de journée ou la nuit. De plus, étant donné que les systèmes informatiques de contrôle du climat permettent une conduite très pointue de la température, il est essentiel de faire une distinction entre la température de jour, la température de prénuite, la température de nuit, et finalement, la température moyenne sur 24 heures.

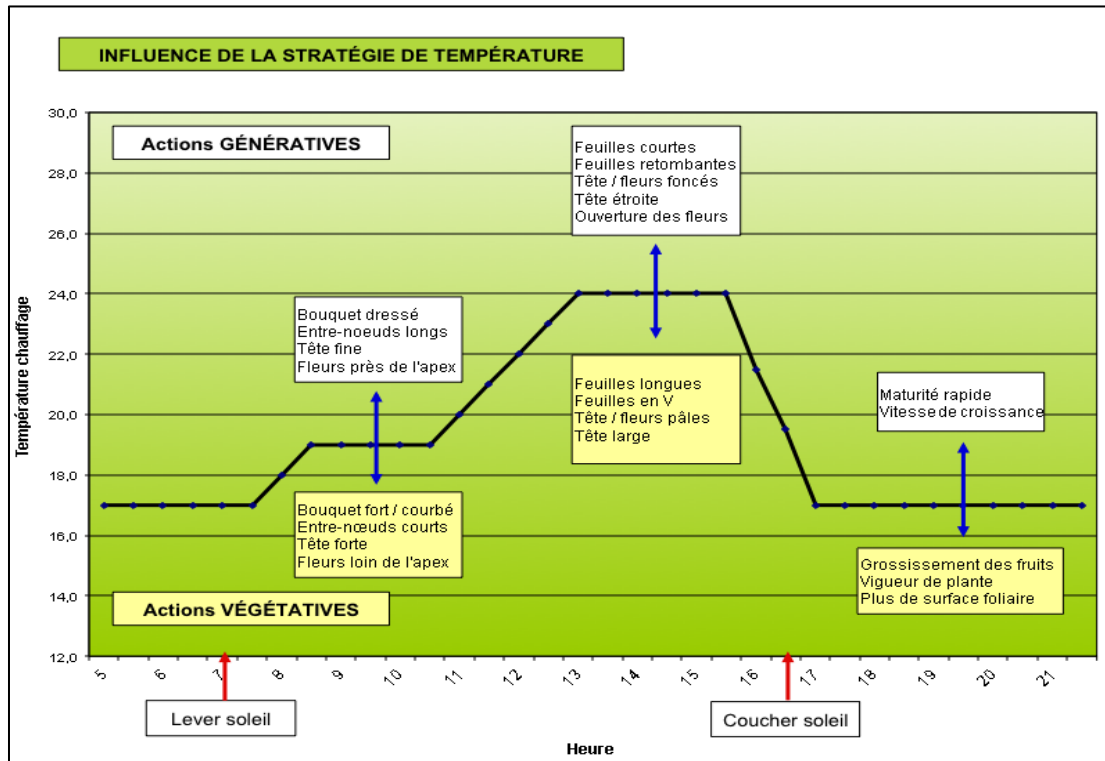


Figure 5.1 Influence de la température sur l'équilibre génératif/reproductif.

En résumé :

- La T° 24 h agit principalement sur :
 - ✓ la vitesse de développement des nouvelles grappes de fleurs et des feuilles;
 - ✓ la vigueur;
 - ✓ la vitesse de croissance et de maturation des fruits;
 - ✓ l'équilibre génératif/végétatif.
- La T° jour agit principalement sur :
 - ✓ l'élongation des cellules;
 - ✓ la photosynthèse.
- La T° prénuît agit principalement sur :
 - ✓ la répartition des sucres vers les fruits.
- La T° nuit agit principalement sur :
 - ✓ la nouaison;
 - ✓ la respiration.

- ✓ L'écart de T° jour/nuit agit principalement sur :
 - ✓ la morphologie de plante (compacte/étiolée);
 - ✓ l'équilibre génératif/végétatif.
- La conduite de la température est le principal outil du serriste pour ajuster le taux de développement en fonction du rayonnement solaire global et agir sur l'équilibre entre la biomasse végétative et générative.

Gestion de l'équilibre génératif/végétatif

En début de culture lorsque le rayonnement solaire est faible, les plants de tomate sont souvent végétatifs. Le meilleur moyen de limiter le développement excessif de la végétation est d'utiliser une conduite climatique « générative » pour essayer de rétablir un bon équilibre. Voici quelques conseils pour bâtir une stratégie de conduite qui favorise les caractéristiques génératives :

- ⇒ Augmenter l'écart (4 °C et plus) entre la T° jour et la T° nuit. Plus la différence de T° nuit/jour est grande et plus la réponse de la plante sera générative.
- ⇒ Augmenter la T° 24 h. Lorsque la vigueur des plants est bonne et lorsque le rayonnement global (RG) le permet, cette action stimule le développement des fleurs et des fruits.
- ⇒ Utiliser une T° tuyaux minimum élevée (45 °C et plus) lorsque le temps est nuageux. Le but de maintenir un minimum est d'activer les plantes par le rayonnement produit par les tuyaux. L'objectif est d'essayer de maintenir un DH > 4,0 g eau/m³ air.
- ⇒ Faire la transition de T° nuit vers T° jour après le lever du soleil, 2 à 3 heures après. La remontée de température est à faire assez rapidement (1-2 °C/heure) tout en évitant la condensation sur les plants.
- ⇒ La deuxième portion du jour (après 12 h) est normalement plus chaude de 1 à 2 °C par rapport à la première. S'il fait beau, cette différence peut être encore plus grande.
- ⇒ Lors de la transition de T° jour vers T° nuit, faire une descente très rapide (4 °C/heure).
- ⇒ Ajouter une période de prénuît. Amorcer la descente 30 minutes avant ou au moment du coucher du soleil. La T° prénuît devrait être entre 14-16 °C. Remonter progressivement (1 °C/heure) la T° en seconde partie de nuit jusqu'à 18-19 °C, afin de ne pas pénaliser la T° 24 h. Lorsque la vigueur des têtes commence à diminuer, c'est le temps d'arrêter cette pratique.

- ⇒ Pour adapter la T° 24 h en fonction du rayonnement global, suite à une très belle journée (RG > 1 000 joules/cm²), on devrait augmenter la T° nuit de +1 °C.
- ⇒ Augmenter la conductivité électrique, si les racines sont bien développées dans les sacs de culture.

Le tableau qui suit résume les interactions qui existent entre la conduite climatique et l'équilibre de la tomate.

Tableau 5.1 Influence du climat sur l'équilibre génératif/végétatif.

Paramètres climatiques	Effet recherché sur les plantes	
	Accroître le caractère génératif	Accroître le caractère végétatif
24 h	Élevée	Basse
Écart T° jour/nuit	Grand (plus de 4 °C)	Faible (moins de 1 °C)
Transition de T° jour/nuit	Rapide (2-4 °C/h)	Lente (0,5-1 °C/h)
Heure de la transition de T° nuit vers jour	Tardive (2-4 h après le lever du jour)	Hâtive (1 h avant ou au lever du jour)
Période préjour	Oui	Non
T° minimum du tuyau (chauffage à l'eau chaude)	Haute (45 °C et plus)	Basse (35 °C et moins)
T° tuyau de chauffage intravégétation (tube de croissance)	Haute (30 - 40 °C)	Basse (0-25 °C)
Position du tube de croissance	Bas de la plante	Haut près de la tête
Stratégie de chauffage de la serre entre 10 h et 16 h	Augmenter de 2 à 4 °C le chauffage au-dessus des consignes de base	S'en tenir aux consignes de base
Stratégie d'aération de la serre entre 10 h et 16 h	Rapprocher la T° d'aération de la T° de chauffage (0-0,5 °C)	Différence de 3-4 °C
Influence du rayonnement global sur la T° chauffage	Élevée	Basse
Période prénuite	Oui	Non
Humidité de l'air	Faible	Élevée
Déficit hydrique	Élevé	Bas
Ventilation	Forte	Faible
CO ₂	500 à 900 ppm	Pas d'enrichissement

En général, tous les facteurs qui contribuent à diminuer la pression racinaire rendent la tomate plus générative. Ce qui revient à dire qu'une plante que l'on « stresse » devient générative :

- Climat sec. Début de journée frais et sec
- Beaucoup de ventilation et de chauffage
- Forte radiation solaire et chaleur
- Grande différence de température entre le jour et la nuit
- Période de prénuite froide
- Arrosage qui débute tard et qui finit tôt, avec peu de drainage
- Grande différence du contenu en eau dans le substrat entre le jour et la nuit
- Conductivité électrique (CE) élevée
- Faible volume de substrat
- Grand nombre de fruits par plant avec peu de feuilles

Techniques de la prénuite et du forçage de température

On appelle prénuite la période qui suit la fin de la journée, c'est en quelque sorte la première partie de la nuit. La technique de la prénuite consiste à faire subir à la plante un stress, induit par une température de l'air plus basse que la normale. Le but visé par cette technique est de rendre les plants de tomate plus reproductifs. Généralement, cette technique n'affecte pas la moyenne de température sur 24 heures, car la température basse de prénuite est compensée par une température plus élevée que la normale dans la deuxième partie de la nuit. La prénuite peut aussi servir à compenser le « forçage » de la température de jour, ce qui aura pour effet d'augmenter l'effet reproductif sur les plants (figure 5.2).

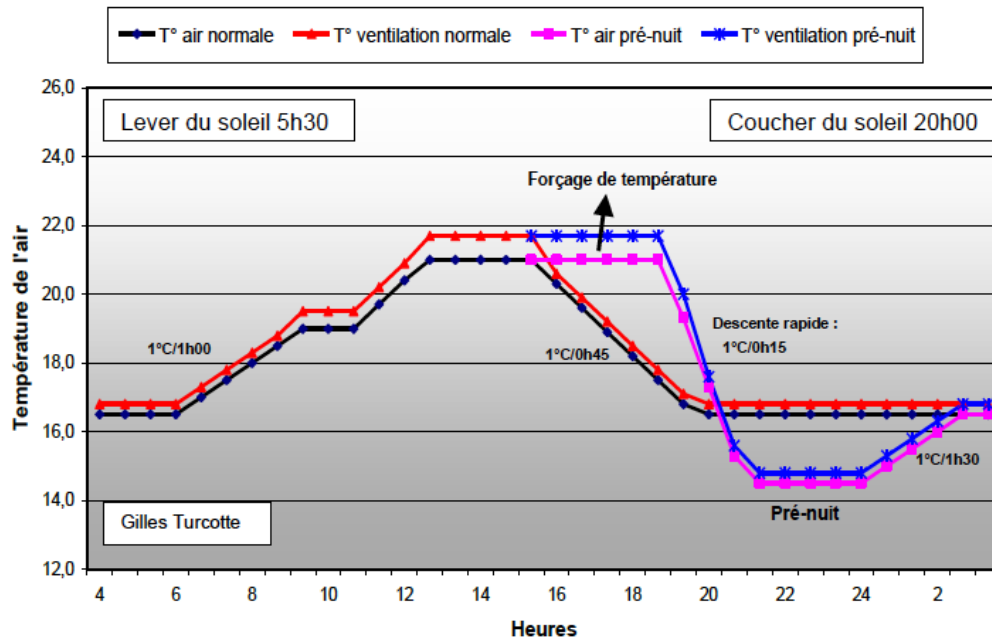


Figure 5.2 Gestion des températures pour réaliser une prénuite.

- Descente de T° air normale (1 °C au 45 minutes) ou rapide (1 °C au 15 minutes) selon l'intensité de l'effet recherché. Une descente brutale de la température lors du passage des consignes de jour aux consignes de prénuite va augmenter l'effet.
- T° air pendant la prénuite de 12 à 15 °C.
- Durée de 30 minutes à 4 heures. Plus la température est basse et plus la durée sera courte.
- Remontée de T° air lente pour éviter la condensation (1 °C au 90 minutes).

EFFET DE LA PRÉNUIT

Le grand écart de température entre le jour et la prénuite provoque une réaction reproductive de la plante. Les assimilats produits pendant la photosynthèse seront prioritairement dirigés vers les fruits, et ce, au détriment de la croissance végétative (tige et feuilles), du développement des nouvelles grappes et du système racinaire. Ce phénomène s'expliquerait par le fait que, lors de la descente de température, les feuilles se refroidissent plus rapidement que les fruits, et que ces derniers restent actifs plus longtemps pour attirer les sucres. Les effets sont :

- Plus la technique sera faite avec intensité et plus l'effet reproductif sera fort.
- Faire grossir rapidement les fruits du bas du plant.
- Diminution de la végétation en tête, de la longueur des feuilles et de la vigueur.

- Stimule la floraison, mais ne favorise pas le développement de nouvelles grappes fortes.

QUAND DOIT-ON UTILISER LA TECHNIQUE DE LA PRÉNUIT?

- Pour corriger l'équilibre d'un plant trop végétatif.
- Pour compenser le « forçage » de la température de jour sur des plants vigoureux.
- Pour augmenter le calibre des fruits du bas d'un plant vigoureux.
- Pour compenser le climat végétatif d'une journée sombre et nuageuse.

QUELLES SONT LES LIMITES?

- À ne pas faire dans les deux semaines précédant la première récolte.
- À ne pas faire sur des plants déjà reproductifs et qui ne sont pas assez vigoureux.
- Attention, les grands écarts de température sont favorables au microfendillement.
- Le grossissement rapide des fruits peut causer du « blotchy ».
 - ⇒ Cette technique ne devrait pas être utilisée en permanence, après 3 ou 4 jours, on observe les plantes avant de poursuivre.

FORÇAGE DE TEMPÉRATURE

Le forçage de la température est un outil qui permet de rendre les plants plus reproductifs. Cette technique s'applique bien sûr lorsque la température extérieure le permet. Lorsqu'il fait soleil, il est normal d'augmenter la température de la serre pour que les plantes puissent profiter de toute la lumière qui est disponible. La montée de température se fait normalement en milieu de journée et suit la course solaire. Si l'intensité lumineuse le permet, on peut monter jusqu'à 26 - 28 °C sans problème. Mais lorsque le temps est sombre et que le climat est « végétatif », il faut provoquer un effet sur la plante pour la rendre plus reproductrice. Cet effet s'obtient par une montée brusque de la T° air d'une durée de quelques heures qui forcera la plante à transpirer. Le forçage se fait en après-midi et est généralement suivi par une prénuite. Cette période permet de compenser la hausse de T° jour et de maintenir une T° 24 h qui n'est pas trop élevée. Comment forcer la température :

- Pour ne pas faire étioler les têtes, on ne fait jamais de hausse brusque de T° en début de journée. Présentement, la période pour faire un « kick » se situe entre 14 h à 18 h et la durée devrait être d'environ 3 heures.
- La montée de la T° est rapide (1° C/15 minutes). La T° est entre 21 °C et 23 °C selon le besoin des plants. Plus il y aura d'écart entre les T° jour/nuit et plus l'effet sera fort.
- Pendant la hausse de température, l'humidité relative va aussi augmenter. La ventilation est donc essentielle pour bien assécher l'air. Si le climat devient trop « lourd » vous obtiendrez l'effet inverse de celui recherché.
- La prénuite débute tout de suite après et se termine dans la nuit. La durée sera aussi d'environ 3 heures.
- Si la température extérieure le permet, la descente peut être aussi rapide que 1° C/15 minutes et ce, jusqu'à une T° de 14 °C et même plus bas dans certains cas.

EFFET DU FORÇAGE

- Un plant plus reproductif.
- Une bonne floraison et une bonne séquence à la nouaison.
- Un « stress » qui force la plante à transpirer plus.
- Si le forçage est accompagné d'une prénuite, le calibre des fruits augmentera.

5.2 CONDUITE CLIMATIQUE ADAPTÉE SELON LE STADE DE DÉVELOPPEMENT

Dans le processus normal du développement d'une entreprise serricole maraîchère, l'accroissement de la productivité est très rapide au cours des premières années. Après avoir atteint un certain niveau de production, il y a habituellement un palier de ralentissement de l'augmentation des rendements. Au-delà de la période de progression rapide, toute amélioration de la production est plus difficile. L'augmentation de la productivité, c'est souvent une question de détails et de rigueur dans la conduite de culture.

Les plants de tomate dans une serre se développent sous l'influence de plusieurs facteurs : rayonnement solaire, T° 24 h, écart de T° Jour/Nuit, hygrométrie, CO₂ et les interventions humaines. L'action et l'interrelation de ces facteurs conditionnent la vigueur, l'équilibre, les besoins en eau et en

minéraux des plantes. Lorsque ces facteurs sont contrôlés et appliqués de façon équilibrée, c'est à ce moment que les conditions de croissance sont optimales. Mais il faut constamment faire attention aux facteurs limitants, il ne suffit que d'UN SEUL FACTEUR mal contrôlé pour « bloquer » l'effet des autres et ainsi nuire au développement idéal des plants. C'est à ce moment que l'on perd des rendements. Outre la connaissance des facteurs environnementaux qui façonnent les plantes, il faut aussi être familier avec les besoins de la tomate. Comme pour les êtres humains, les besoins des plantes changent en fonction du stade de développement.

Généralement, les experts s'entendent sur 6 stades bien distincts dans la vie d'un plant de tomate. Ces étapes peuvent varier d'un expert à l'autre, mais dans l'ensemble ça se ressemble beaucoup. À chaque stade, les besoins sont présentés comme des objectifs à atteindre. En contrepartie, les conditions de culture à éviter sont aussi présentées.

Pour maximiser la productivité, on a aussi besoin du savoir-faire. Premièrement, le producteur doit faire un suivi rigoureux des cultures et prendre les bonnes décisions au bon moment. Le système Tom'Pousse est un exemple concret d'un suivi chiffré de la culture qui permet de faire le point sur l'état des plants. L'analyse des données agronomiques permet de prendre une décision claire pour ensuite passer à l'action. Deuxièmement, le producteur doit être capable de déchiffrer le « langage » complexe des plantes, ce qui demande d'avoir un bon « pouce vert »...

Les stades du développement de la tomate en serre

- 1.** Préparation des plants
- 2.** Mise en serre jusqu'à la plantation
- 3.** Début de l'enracinement jusqu'à la floraison du 4^e bouquet
- 4.** Nouaison du 4^e bouquet jusqu'à la 1^{re} récolte
- 5.** Phase de production maximale
- 6.** Ralentissement de la production jusqu'à la dernière récolte

Les stades 1 et 2 ont déjà été présentés dans le chapitre 2. Dans la section qui suit, il est question des autres stades. De plus, pour que la compréhension du lecteur soit plus globale, des notions de conduite de culture et d'irrigation, qui sont traitées plus en détail dans les chapitres 4 et 6, ont été ajoutées à la conduite climatique.

Stade 3 – Début d'enracinement jusqu'à la floraison du 4^e bouquet

OBJECTIFS

- ⇒ **Établir un système de racines uniforme, robuste et très ramifié.** L'architecture de base du système de racines des plants s'établit pendant cette étape. L'établissement d'un faible réseau d'enracinement avant la floraison du 4^e bouquet va avoir des répercussions négatives sur le développement futur de la culture.
- ⇒ **Vigueur entre 10,5 et 12,5 mm.** Des plantes trop minces donneront des bouquets faibles avec le risque d'avoir des fleurs qui vont avorter. À l'autre extrême, des plantes trop grasses vont facilement devenir en excès de végétation avec tous les problèmes qui accompagnent cet état de déséquilibre.
- ⇒ **Une vitesse moyenne de formation des bouquets de l'ordre de 1 bouquet/semaine.** Une vitesse rapide de formation des 4 premiers bouquets permet de bien répartir la charge en fruits sur les 4 premiers bouquets. C'est la meilleure façon de créer un équilibre entre l'aspect génératif et végétatif en début de production. Une plante qui est bien équilibrée dès le 4^e bouquet est plus facile à maintenir dans cet état par la suite.
- ⇒ **Établir une culture uniforme.** Pour obtenir une bonne régularité entre les plants, il est important de maintenir un climat stable et irriguer uniformément toute la serre. Une culture qui est uniforme au départ sera plus facile à travailler pendant toute la saison.

CONDITIONS À ÉVITER

- ⇒ **Faible enracinement.** Une mauvaise stratégie de l'arrosage peut entraîner cette mauvaise situation. De plus, un effeuillage excessif en début de culture peut entraîner une forte réduction du développement des racines. Une grande surface d'évapotranspiration est un bon stimulant pour la croissance des racines. Mais bien entendu, les feuilles doivent être actives.
- ⇒ **Plants trop végétatifs et trop vigoureux, diamètre de tige plus grand que 12,5 mm.**

- ⇒ **Une vitesse de formation des bouquets trop lente.** Une vitesse trop lente entraîne un grossissement trop important des premiers fruits par rapport aux fruits de la 3^e et de la 4^e grappe. Cet état conduit à un important déséquilibre. La première grappe de fruits devient alors un puits « sink » d'énergie disproportionnée par rapport aux autres puits : la tête du plant en croissance, les autres bouquets et les racines. Un écart de développement trop important entre les grappes va entraîner une oscillation des rendements. La première période de récolte sera intense, mais elle sera suivie par une forte baisse, et ces fluctuations peuvent se poursuivre toute la saison. L'équilibre général de la culture va aussi alterner constamment d'un état génératif à un état végétatif. Une fois l'instabilité établie, c'est très difficile à corriger.
- ⇒ **Des fleurs à caractère végétatif** (grosses fleurs avec un pollen de mauvaise qualité) qui s'ouvrent péniblement. La nouaison sera aussi lente. Ces 2 conditions vont causer l'avortement des premières fleurs ou donner des fruits de mauvaise qualité.
- ⇒ **Augmenter la densité avec un extra-bras trop tôt en début de saison.** Si la culture n'est pas en équilibre, ou encore si les conditions lumineuses ne sont pas bonnes, laisser pousser un extra-bras va considérablement réduire l'uniformité de la culture.

CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION

- ⇒ La conduite de l'irrigation est l'un des éléments clés pendant cette phase. Juste après la plantation, l'irrigation se gère comme si on arrosait seulement le bloc de transplantation. On attend que les racines aient bien colonisé le sac de culture avant de gérer les arrosages en fonction du volume de ce dernier. Ce n'est pas nécessairement vrai que d'assécher le substrat de culture stimule le développement des racines. L'assèchement du substrat provoque une privation d'eau et de minéraux et ce n'est pas ce dont les plantes ont besoin pendant cette étape.
- ⇒ Pour une plantation d'hiver, les plants sont au stade 3 alors que les conditions extérieures sont encore très froides et que la serre a besoin d'être chauffée de façon importante, surtout la nuit. C'est à considérer dans l'établissement de la stratégie d'arrosage, surtout pour les premiers arrosages du matin. Étant donné le chauffage, il y a un risque de commencer à arroser trop tard le matin. La privation d'eau en début de journée, ce n'est pas une bonne technique pour stimuler le développement des racines, mais c'est plutôt une façon de stresser négativement les plantes. Une bonne stratégie d'irrigation inclut une période de ressuyage en fin de journée. Le ressuyage est important pour oxygéner les racines et pour permettre un enracinement solide et bien réparti

dans tout le substrat de culture. Au printemps, le soleil est encore assez bas à l'horizon et sa course est courte, il faut donc arrêter les arrosages 3 à 4 heures avant le coucher du soleil.

- ⇒ Pour la nutrition minérale, c'est préférable d'accroître l'apport en calcium et de réduire celle de l'azote et du potassium. En début de culture, les conditions climatiques sont un peu trop favorables à la végétation, et ce, au détriment de l'aspect génératif. Pour contrebalancer cet effet, il est souhaitable de donner une CE plus élevée que la normale. Au début du stade 3, l'apport peut-être de 4,0 – 4,5 mS/cm. Le pH est maintenu autour de 5,7 à l'apport, s'il est au-dessus 6,2, il y a un risque de bouchage des gouteurs. La CE est diminuée progressivement pendant cette phase pour atteindre 3,0 – 3,5 mS/cm à la fin. La CE de la solution drainée hors des sacs de culture pourra être d'environ 1,5 mS/cm plus élevée que l'apport. Le lessivage doit être régulier et constant. S'il est trop faible, il va se créer trop d'écart entre les sacs de culture et l'uniformité de la culture va s'en ressentir.
- ⇒ La T° 24 h vise à former 1 bouquet/semaine en moyenne et le maintien d'un diamètre de tige plus grand que 10,5 mm. Par rapport à une culture mature, il faut utiliser une T° 24 h plus élevée. L'ajustement à la hausse ou à la baisse en fonction du rayonnement solaire est toujours de mise.
- ⇒ Éviter l'absence ou l'excès d'aération de la serre. Afin d'éviter de la ventilation trop froide et pour contrôler les coûts de chauffage, on peut tolérer une hygrométrie moyenne sur 24 h de l'ordre de 80 %.
- ⇒ Utiliser raisonnablement le CO₂ (400 – 600 PPM) tant que la charge en fruits n'est pas bien établie. Trop de CO₂ sur une plante avec une faible charge en fruits peut favoriser de façon excessive la végétation.
- ⇒ Enlever les drageons tous les 5 jours pour optimiser l'utilisation de l'énergie. N'enlever que les feuilles qui sont « inactives », c'est-à-dire celles qui reçoivent peu ou pas de lumière. Éviter les effeuillages par à-coups. Il est préférable d'enlever les feuilles progressivement, soit de 1 à 3 par semaine. Pour réduire l'aspect végétatif, il est préférable d'agir en prévention en enlevant une petite feuille dans la tête du plant, par opposition à enlever une feuille mature bien active qui capte beaucoup de rayonnement solaire.

Stade 4 – Nouaison du 4^e bouquet jusqu'à la 1^{re} récolte

OBJECTIFS

- ⇒ **Bâtir un bon équilibre végétatif/génératif.** Lorsque les plantes sont bien équilibrées avant la 1^{re} récolte, c'est plus facile de maintenir cet état tout le reste de la saison. Un excès du nombre de fruits et de feuilles est à éviter. Pour les variétés charnues, conserver 3-4 fruits sur les 4 premières grappes c'est suffisant. Par la suite, ça dépend de la lumière, mais c'est toujours préférable de ne pas dépasser une moyenne de 4 fruits/grappe avant la 1^{re} récolte. Pour le nombre de feuilles, l'objectif c'est que 2 ou 3 grappes dans le bas des plants soient complètement à découvert au moment de commencer la 1^{re} récolte.
- ⇒ **Vigueur entre 11,5 et 12,5 mm.** Ajuster la T° 24 h en fonction du rayonnement solaire global afin de pouvoir observer une légère coloration pourpre sur la tige de la tête. Ceci indique que les plants sont vigoureux et qu'ils ont des réserves. Ne pas confondre avec une plante qui a froid. Dans ce cas, les feuilles et la tige de la tête montrent une coloration pourpre plus intense et le taux de croissance est faible.
- ⇒ **Conserver une vitesse de formation de nouveaux bouquets constante.** Cette vitesse est en moyenne de 0,7 à 1,0 bouquet/semaine, selon le niveau d'ensoleillement. Si le développement des bouquets est trop lent, il y a un risque de créer un déséquilibre entre le bas des plants et la tête. Une vitesse trop lente permet un grossissement trop important des premières grappes. Les premières grappes demandent alors beaucoup d'énergie au détriment de la tête et des nouveaux bouquets.

CONDITIONS À ÉVITER

- ⇒ **Plants trop végétatifs.** Ces plants donnent des bouquets qui vont fleurir et nouer difficilement. Il va s'en suivre une formation de fruits de mauvaise qualité.
- ⇒ **Plants qui manquent de vigueur et de réserve** (diamètre de tige inférieur à 10,0 mm). Un manque de vigueur entraîne la formation de bouquet faible.

- ⇒ **Avortement des fleurs sur le 6^e-7^e bouquet.** Ce phénomène est causé par un manque important de vigueur. Cette perte de vigueur à la veille de la 1^{re} récolte peut être la conséquence d'un ou de plusieurs facteurs : 1- T° 24 h trop élevée; 2- système de racines faible (voir le stade 3); 3- vitesse de formation des premiers bouquets trop lente; 4- plants trop végétatifs.
- ⇒ **Initier des extra-bras sur une culture qui manque de vigueur.** Cette intervention va avoir pour conséquence d'affaiblir encore plus la culture et de diminuer l'uniformité. Cette opération ne devrait jamais être réalisée la semaine qui précède le début des récoltes.
- ⇒ **Retard au niveau du travail.** Enlever les drageons, effeuiller ou tailler les bouquets en retard peut affecter l'équilibre génératif/végétatif.

CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION

- ⇒ La T° 24 h vise une formation d'au moins 0,7 bouquet/semaine en moyenne et le maintien d'un diamètre de tige plus grand que 11,5 mm. Un écart de T° jour/nuit entre 2-3 °C est normalement suffisant.
- ⇒ Éviter l'absence ou l'excès d'aération de la serre. Afin d'éviter de la ventilation trop froide et pour contrôler les coûts de chauffage, on peut tolérer une hygrométrie moyenne sur 24 h de l'ordre de 80 %.
- ⇒ Une fois que la charge en fruits est bien établie sur les 4-5 premières grappes, l'utilisation du CO₂ peut être augmentée : 600 – 900 PPM.
- ⇒ Normalement à cette étape, l'enracinement est bien établi et il est possible d'assécher un peu plus le substrat. Le but est de soutenir la croissance des racines par une bonne aération du substrat. Plus la réserve est importante, comme en sol, plus la période de ressuyage est longue. Le ressuyage se fait toujours en après-midi ou en fin de journée selon la réserve.
- ⇒ Pendant cette phase d'augmentation de la charge en fruits, c'est nécessaire d'augmenter le potassium. La concentration du calcium et de l'azote de la solution nutritive devrait être normale. CE de l'apport : 2,5 – 3,0 mS/cm; CE du drainage : 4,0 – 4,5 mS/cm. Le pH est autour de 5,7 à l'apport.

- ⇒ Le travail d'entretien peut maintenant se faire tous les 7 jours. L'effeuillage se fait progressivement d'une semaine à l'autre. Au moment de la 1^{re} récolte, 2 ou 3 grappes dans le bas des plants doivent être à découvert.

Stade 5 – Phase de production maximale

Avec une plantation hâtive en décembre, c'est tout au début du mois de mars qu'aura lieu la première récolte. Cependant, plusieurs producteurs vont planter plus tard, mais en général la dernière semaine du mois de février représente la date de plantation la plus tardive. La phase de production maximale commence environ 2 semaines après la cueillette des premiers fruits mûrs. Selon la date de plantation, cette phase commencera entre la mi-mars et le début mai. Selon la vigueur de la plante et son équilibre végétatif/génératif, cette phase peut durer jusqu'au mois d'août. À la semaine 31 (première semaine du mois d'août), une culture plantée en décembre aura noué environ 24 bouquets. L'âge des plants de tomate et la chaleur du mois de juillet vont mettre un terme à cette phase de production maximale. Suivant une transition plus ou moins longue, la culture va subir un ralentissement de la production.

OBJECTIFS

- ⇒ **Maintenir une plante générative et vigoureuse.** Lorsque l'équilibre des plants est bien établi pendant la phase 4, c'est beaucoup plus facile d'atteindre cet objectif. Dès que la première grappe a été récoltée, il y a un surcroît d'énergie dans la plante qui donne un regain de croissance. Après cette reprise, la productivité maximale est obtenue avec une plante générative et vigoureuse. Pour la tomate charnue, le diamètre de tige devrait se situer autour de 12 mm, entre 11,5 à 12,5 mm, mesuré au point de croissance. Une plante générative a aussi une bonne réserve. C'est la coloration pourpre sur la tige qui est l'indicateur de cet état. La hauteur de la floraison et la longueur des feuilles permettent d'évaluer la balance. Idéalement, la hauteur de floraison devrait être entre 15 et 18 cm et les feuilles matures devraient avoir une longueur autour de 45 cm.
- ⇒ **Obtenir la charge maximale en fruits en mai.** Au Québec, en mars et en avril le rayonnement solaire global n'est pas suffisant pour soutenir de façon équilibrée la charge maximale en fruits. Si la première récolte se fait en mars, le nombre de tomates par mètre carré de culture devrait représenter environ 75 % de la charge maximale. Selon la qualité de la serre, le calibre visé et

l'utilisation du CO₂, la charge maximale pour une tomate « Beef » est de 55-65 fruits/m². Le calendrier de production est idéalement construit pour que ce seuil soit atteint vers les semaines numéro 18-20. Lorsque l'on établit la charge maximale trop tôt en saison, dès que le rayonnement solaire global baisse, comme la première quinzaine du mois d'avril, ça oblige à trop diminuer la T° 24 h pour conserver la vigueur des plantes. Une trop faible T° 24 h occasionne souvent plusieurs problèmes : perte de l'équilibre en faveur du côté végétatif, perte du contrôle biologique, *Botrytis* sur tige, etc.

- ⇒ **Croissance régulière et uniforme.** Sous nos conditions climatiques, après la nouaison du 7^e bouquet, la vitesse de formation des nouvelles grappes de fleurs est en moyenne 0,75 à 0,85 par semaine. La conduite de culture vise à maintenir ce rythme le plus stable possible. Pour une vigueur donnée, la longueur des entre-nœuds devrait être régulière d'une semaine à l'autre. Il en va de même pour la longueur des feuilles matures.

CONDITIONS À ÉVITER

- ⇒ **Plants faibles et végétatifs.** La semaine qui précède la première récolte, en est une qui est difficile à traverser. La charge en fruits est importante, les têtes s'affinent, certaines chloroses apparaissent et la quantité de sucres est à peine suffisante pour alimenter tous les organes (fruits, fleurs, feuilles et racines) en même temps. Une plante faible et déséquilibrée aura tendance à diriger les sucres vers les organes végétatifs (feuilles et racines) plutôt que vers les fleurs et les fruits. C'est aussi des conditions qui sont à risque pour le *Botrytis* de tige et une attaque des racines par le *Pythium*.
- ⇒ **Charge maximale en fruits au moment de la première récolte.** La perte de vigueur est inévitable. De plus, si le temps est sombre, il pourrait s'en suivre un affaiblissement général de la plante : perte de vigueur, déséquilibre végétatif et dépérissement du système de racines. Par la suite, le retour au point d'équilibre sera plus difficile. Pendant l'étape de correction, les plants vont produire des bouquets faibles avec une productivité future moindre et possiblement des fruits avec une qualité inférieure. De plus, le risque d'obtenir des fruits atteints de nécrose apicale ou de microfendillement est plus élevé.
- ⇒ **Nombre de feuilles insuffisant en mai.** Pour nos conditions climatiques, c'est aussi en mai que l'on devrait avoir la surface foliaire maximale. En général, la surface foliaire devrait représenter

autour de 3 m² par rapport à 1 m² de surface de plancher. Une bonne surface foliaire va permettre de capter un maximum de radiation solaire et va aussi servir de « climatiseur » de la serre. La capacité d'évapotranspiration d'une culture est proportionnelle au nombre de feuilles. Un effeuillage trop agressif peut entraîner indirectement un affaiblissement des racines, car une plante qui a moins de feuilles a généralement un taux de transpiration plus faible et n'a pas besoin d'un important système de racines.

CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION

- ⇒ La gestion de la T° 24 h est ajustée afin que la vigueur demeure autour de 12,0 mm. L'écart de T° jour/nuit est géré selon l'aspect génératif des plants. Plus la plante sera végétative, plus il sera important. La hauteur de floraison est un bon indicateur à suivre. Avec une bonne vigueur, l'utilisation d'une période de prénuite est un bon outil pour accroître le calibre des fruits. Une fin de nuit et un début de jour frais donnent des plants avec des entre-nœuds courts et des bouquets vigoureux. L'augmentation de la température de la serre suit l'accroissement de la lumière naturelle et ne la devance pas. L'utilisation du chauffage à la base des plants en début de journée vise à éviter la condensation et non à réchauffer la serre.
- ⇒ La charge en fruits devrait être réévaluée à partir de la mi-juin. Idéalement, il faudrait anticiper les périodes de chaleur. Une plante avec une charge en fruits moindre va passer plus facilement au travers d'une canicule. La taille des nouveaux bouquets en conservant seulement 3 fruits, deux ou trois semaines avant la mi-juillet semble être une bonne façon de garder les plantes productives pendant l'été.
- ⇒ Au jour le jour, la gestion climatique de la serre vise à éviter les situations stressantes pour la culture. Lorsque la radiation globale devient importante, plus de 600 watts/m², le taux d'humidité de la serre peut devenir très bas. Pour éviter les stress hydriques, la gestion de la ventilation devrait viser à ce que la descente de l'hygrométrie soit égale ou inférieure à 5 % du taux d'humidité relative par heure. Pendant les journées chaudes de l'été, l'aération en début de matinée doit être maximale, dès que l'humidité devient le facteur limitant, l'ouverture des ouvrants devrait être bloquée pour conserver un maximum d'humidité dans la serre.
- ⇒ Avec des plants de tomate bien équilibrés l'enrichissement en CO₂ peut être de : 800-1000 PPM lorsque la ventilation est faible et 400-450 lorsque la ventilation est modérée.

- ⇒ Un bon indicateur de l'état général d'une culture c'est la consommation hydrique. Une culture performante devrait consommer une quantité (litres/m²) égale ou supérieure à 2 FOIS la sommation du rayonnement global (SRG). Par exemple, pour une journée où l'on reçoit 1 800 joules/cm², la consommation devrait être 3,6 litres/m². CONSOMMATION = 2 SRG
- ⇒ C'est aussi important de penser à l'oxygénation des racines. Une bonne période de ressuyage est encore nécessaire. Le ressuyage se fait toujours en après-midi ou en fin de journée. Cette période est plus ou moins longue selon le type de substrat.
- ⇒ Dès que la chaleur s'installe et que la T° 24 h devient plus difficile à contrôler, le risque de nécrose apicale devient maximum. La concentration du potassium est replacée à la normale. La concentration du calcium et du bore est augmentée. Le bore favorise l'absorption du calcium. Le chlorure joue aussi le même rôle, donc le chlorure de calcium est tout indiqué dans une recette de solution nutritive extra calcium. L'objectif pour la CE du drainage peut demeurer de 4,0 – 4,5 mS/cm. Cependant, pendant une vague de chaleur, il sera plus prudent de baisser la cible autour de 3,8-4,0. L'apport devra être abaissé en conséquence. Idéalement, durant la journée la CE devrait être ajustée selon la radiation solaire. Pour le pH, c'est toujours la même chose, autour de 5,7 à l'apport.

Stade 6 – Ralentissement de la production jusqu'à la dernière récolte

Le ralentissement de la vitesse de nouaison commence à se faire sentir au mois d'août et deviendra plus intense à partir du mois de septembre. Deux raisons expliquent ce phénomène, d'abord l'âge de la plante et puis la diminution du rayonnement solaire. Au début du mois de septembre, les cultures plantées hâtivement auront noué autour de 26-27 bouquets. Pour ceux qui étêtent les plants en octobre, il restera encore 3,0-3,5 bouquets à former. La qualité de ces dernières grappes est très importante, car les prix ventes des mois d'octobre à décembre sont généralement au-dessus de la moyenne annuelle.

OBJECTIFS

- ⇒ Maintenir une plante vigoureuse avec une croissance constante jusqu'à l'étêtage.
- ⇒ Réaliser l'étêtage dans des conditions optimales.

- ⇒ Récolter plus de 13 kg du 1^{er} septembre jusqu'en décembre.
- ⇒ Éviter les défauts de qualité : microfendillement, fendillement, mauvais mûrissement et nécrose apicale.
- ⇒ Garder le contrôle des ravageurs et des maladies fongiques.

CONDITIONS À ÉVITER

- ⇒ **Perte des racines.** L'été est souvent difficile à traverser pour la culture. Arrivées en septembre, les plantes ont moins de tolérance aux écarts de conduite. Une mauvaise stratégie d'irrigation ou encore, une surcharge en fruits vont perturber la croissance des racines. Il va s'en suivre un début de dépérissement racinaire et une perte de vigueur. Si ça va trop loin, le *Pythium* profitera de la situation pour aggraver le tout.
- ⇒ **Trop forte charge en fruits à partir du mois de septembre.** Il y a un risque important de perdre la vigueur des plants. De plus, si l'automne est sombre, il pourrait s'en suivre un affaiblissement général de la plante : perte de vigueur, déséquilibre végétatif et dépérissement du système de racines. À partir du début août, il est risqué d'accroître la charge en fruits. En août, il faut tout simplement la maintenir ou commencer à la descendre. À partir du mois de septembre, la charge en fruit devrait diminuer. Un trop grand nombre de fruits va nuire à la formation des nouvelles grappes et va contribuer à faire baisser le calibre des fruits. Au début septembre, la charge optimale est autour de 50 fruits/m².
- ⇒ **Plantes sans vigueur et trop végétatives.** Très souvent au mois d'août, la vigueur est en deçà de la limite optimale et l'aspect génératif est dominant. À ce moment, il faudra appliquer une conduite de culture axée sur la végétation pour rétablir l'équilibre. Avec le retour des nuits plus fraîches, c'est plus facile de ramener la vigueur. Le travail se fait sur la partie aérienne, sans jamais négliger l'état des racines, c'est souvent à ce niveau que se situe le problème. Une fois que la vigueur est bonne, la conduite générative peut reprendre pour maximiser le transfert des sucres vers les grappes et les fruits. En automne, la tendance naturelle des plants est d'aller du côté végétatif. Le secret pour terminer la saison avec des tomates de première qualité, c'est de partir avec des grappes fortes.

- ⇒ **Trop forte densité de tiges.** En automne, la densité optimale est autour de 2,4 tiges/m². Un ajustement de la densité contribue grandement à la maîtrise du niveau d'humidité dans la serre, au maintien du calibre des fruits, de la qualité, et permet une plus grande efficacité de la main-d'œuvre.

CONDUITE CLIMATIQUE ET IRRIGATION

- ⇒ **Gestion de la T° 24 h.** Elle doit suivre la baisse de rayonnement. L'écart de T° jour/nuit est toujours géré selon l'équilibre des plants. Avec une bonne vigueur, l'utilisation d'une période de prénuite est un bon outil pour accroître le calibre des fruits. Une fin de nuit et un début de jour frais donnent des plants avec des entre-nœuds courts et des bouquets vigoureux.
- ⇒ **Gestion de l'aération.** En automne, le climat devrait être actif. Il faut créer une bonne circulation de l'air par la ventilation de circulation, l'aération et le chauffage minimum. La stagnation de l'air va stimuler l'éclosion des maladies fongiques. De plus, une mauvaise transpiration des plantes va aussi entraîner des défauts de qualité des fruits (microfendillement), de la brûlure marginale et une diminution de la vigueur du système racinaire.
- ⇒ **Gestion du nombre de feuilles.** On conserve le plus grand nombre de feuilles possible pour permettre à la plante de fabriquer un maximum de sucres pour permettre la croissance des fruits. Cependant, la balance générative/végétative est à respecter. Premièrement, l'effeuillage vise à exposer les grappes de fruits à la lumière. Ceci ne veut pas dire de les découvrir complètement. En fait, il faut créer un environnement autour des fruits qui va permettre un bon mouvement d'air et une bonne pénétration de la lumière dans la canopée. Deuxièmement, enlever toutes les feuilles qui sont inactives (trop à l'ombre) ou qui sont jaunes.
- ⇒ **Étêtage.** Cette opération est à faire 8 à 11 semaines avant la date de la dernière récolte désirée. Pour la majorité des producteurs, cette opération est réalisée entre le 15 septembre et le 10 octobre. Au moment de l'étêtage, l'équilibre des plants est un facteur déterminant. Si les plants sont trop végétatifs, les fruits se développeront plus lentement et resteront plus petits. De plus, la repousse des drageons sera abondante.
- ⇒ **Conduite de culture après l'étêtage.** L'ajustement de la T° 24 h est fait en fonction de la charge en fruits et de leurs croissances. Lorsqu'il reste 5-6 grappes sur une plante, ce n'est pas bon de trop diminuer la T° 24 h (en bas de 17,0 °C). Une T° 24 h trop basse va ralentir la croissance des

derniers bouquets. La maturation des fruits sera très longue, et à la récolte, la qualité ne sera pas très bonne. Par contre, s'il ne reste que 3-4 grappes par plant, il est possible de conduire la culture avec une T° 24 h plus basse et ainsi chercher à maximiser le calibre des derniers fruits à récolter. Avec 5 grappes restantes sur les plants, 22 feuilles/m² (feuilles pleinement développées) c'est suffisant. Plus la densité sera forte et plus le nombre de feuilles par plant sera faible : 2,4 plants/m² → 9-10 feuilles/plant; 3,0 plants/m² → 7-8 feuilles/plant. On obtient un meilleur résultat, lorsque les feuilles sont réparties uniformément sur toute la hauteur des plants.

- ⇒ **Ajuster les irrigations en fonction du climat et de la consommation.** En septembre, il est impératif de réduire l'arrosage pour s'ajuster aux conditions climatiques. Il faut revoir la phase de remouillage des sacs, qui se fait en début de journée et la phase de ressuyage, qui est la période qui précède la nuit. L'accent est mis sur l'oxygénation du substrat de culture, car les racines sont moins actives en fin de production. La période de ressuyage et la période devraient permettre un abaissement du contenu en eau des sacs de culture d'au moins 10 %.
- ⇒ **Gestion de la CE.** Pour compenser la baisse d'activité des plants, la CE de la solution nutritive doit être plus élevée au gouteur. On vise une CE mesurée au drainage entre 4,8 – 5,5 mS/cm.
- ⇒ **Suivi de la pollinisation.** Les bourdons peuvent être moins actifs en automne, c'est important de bien suivre l'état des ruches et le marquage des fleurs.

5.3 GESTION DE L'HYGROMÉTRIE ET DE LA VENTILATION

L'hygrométrie est sans doute le paramètre climatique le plus important à considérer en conduite climatique. Un dossier plus complet sur l'hygrométrie en serre est disponible à l'annexe 4. Dans un premier temps, le serriste travaille à stimuler la transpiration des plants. Sans la transpiration, la photosynthèse n'est pas possible et la croissance ne l'est pas non plus. Lors du processus de transpiration, l'eau passe de la feuille vers l'air par les stomates. Le CO₂ migre de l'air vers les feuilles par ces mêmes ouvertures. Sans CO₂, la photosynthèse ne peut s'effectuer. La transpiration est donc le processus à la base du phénomène de la transformation de l'énergie solaire en sucres.

En second lieu, le serriste cherche à maîtriser la quantité d'eau qui se retrouve dans l'air de la serre. Pour maintenir des conditions climatiques favorables à la transpiration, il est nécessaire d'évacuer l'eau

contenue dans l'air de la serre. L'humidité de l'air se contrôle soit par la condensation, soit par la ventilation et le chauffage, selon la saison. Le contrôle de l'humidité d'une serre n'est pas une tâche facile. C'est une opération complexe qui demande une bonne compréhension de la bioclimatologie ainsi qu'une bonne expérience de la conduite climatique d'une serre.

Pour déterminer le contenu en eau de l'air, on tient compte à la fois de la température et du taux d'humidité relative. C'est pour cette raison que l'on devrait utiliser le concept de déficit hydrique (DH) en conduite climatique de serre plutôt que le taux d'humidité relative. Le déficit hydrique indique la différence entre la quantité de vapeur d'eau que de l'air saturé à 100 % peut contenir, comme dans une feuille de tomate, et la quantité de vapeur d'eau qui est réellement contenue dans l'air de la serre. Le DH est exprimé en g d'eau par m³ d'air sec. Une valeur de 4,0 g/m³ signifie qu'il manque 4,0 g de vapeur d'eau dans 1,0 m³ d'air pour que l'air soit saturé à 100 %. Lorsque la valeur est élevée, c'est-à-dire quand l'air est plutôt sec, l'eau contenue dans les feuilles est évacuée librement. À l'inverse, si cette différence est faible, la transpiration des plantes est entravée. Cette situation entraîne une forte pression dans la plante (pression racinaire). Dans la culture de la tomate, la zone de confort se situe entre 3,0 et 7,0 g/m³ (figure 5.2).

Température °C	Pourcentage en humidité relative (%)													
	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
15	0,6	1,3	1,9	2,6	3,2	3,9	4,5	5,2	5,8	6,5	7,1	7,7	8,4	9
16	0,7	1,4	2,1	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,5	8,2	8,9	9,6
17	0,7	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,5	7,3	8	8,7	9,4	10,2
18	0,8	1,5	2,3	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10	10,8
19	0,8	1,6	2,4	3,3	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,2	9	9,8	10,6	11,4
20	0,9	1,7	2,6	3,5	4,3	5,2	6,1	6,9	7,8	8,7	9,5	10,4	11,2	12,1
21	0,9	1,8	2,8	3,7	4,6	5,5	6,4	7,4	8,3	9,2	10,1	11	12	12,9
22	1	2	2,9	3,9	4,9	5,9	6,8	7,8	8,8	9,8	10,7	11,7	12,7	13,7
23	1	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,2	8,2	9,3	10,3	11,3	12,4	13,4	14,4
24	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,5	7,6	8,7	9,8	10,9	12	13,1	14,2	15,3
25	1,2	2,3	3,5	4,6	5,8	6,9	8,1	9,2	10,4	11,6	12,7	13,9	15	16,2
26	1,2	2,4	3,7	4,9	6,1	7,3	8,5	9,8	11	12,2	13,4	14,6	15,9	17,1
27	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,7	9	10,3	11,6	12,9	14,2	15,5	16,8	18,1
28	1,4	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	10,9	12,3	13,7	15	16,4	17,7	19,1
29	1,4	2,9	4,3	5,8	7,2	8,6	10,1	11,5	13	14,4	15,8	17,3	18,7	20,2
30	1,5	3	4,6	6,1	7,6	9,1	10,6	12,2	13,7	15,2	16,7	18,2	19,8	21,3

Figure 5.2 Table¹¹ de déficit hydrique (g d'eau par m³ d'air). La zone de confort pour la culture de la tomate se situe entre 3,0 et 7,0 g/m³. Cette zone est indiquée en vert sur la table.

La gestion de l'hygrométrie varie selon la saison, car certaines conditions climatiques à l'extérieur des serres limitent la capacité de ventilation. En hiver, les plants produisent peu de vapeur d'eau dans l'air par jour (environ 1 l/m²). À cette période, le besoin de gérer l'humidité est limité. Le taux de transpiration augmente au printemps (2 à 3 l/m²) et en été (3 à 5 l/m²). Durant ces deux saisons, la maîtrise de l'humidité exige de plus grands efforts. Des facteurs externes comme la température, le vent et les précipitations influent sur la capacité de ventilation d'une serre (tableau 5.2).

La ventilation (ou l'aération) d'une serre permet d'évacuer l'air chaud chargé d'humidité et de le remplacer par de l'air extérieur plus frais. Cet apport d'air extérieur peut être quantifié. On le nomme coefficient ou taux de renouvellement de l'air. Les serres ne sont pas des constructions totalement étanches. Le coefficient de renouvellement de l'air d'une serre fermée (serre avec un recouvrement de deux films plastiques) se situe entre 0,5 à 1,5 en m³/m³-h, selon la qualité de la serre ainsi que la force et la direction des vents. Le taux de renouvellement est aussi influencé par la grandeur de l'ouverture des panneaux de ventilation. Ce taux peut être aussi faible que 2 à 5 % (petite ouverture) et dépasser 50 % (grande ouverture). Il y a aussi d'autres facteurs qui influencent le taux de renouvellement de l'air d'une serre. Lorsqu'il fait très froid et lorsque le temps est venteux, ce taux est nettement plus élevé. Plus ce taux est élevé et plus il est facile de déshumidifier une serre.

¹¹ Source : <http://www.cultilene.nl>

Tableau 5.2 Effet des changements climatiques saisonniers sur le contrôle de l'humidité et la capacité de ventilation d'une serre.

Saison	Méthode principale pour contrôler l'humidité	Ouverture moyenne des panneaux de ventilation selon la saison	Facteurs extérieurs qui limitent la ventilation selon la saison		
			Température	Vitesse du vent	Précipitation
Hiver	Condensation	1 à 5 %	< 8 °C	+ 2 m/sec	Neige ou pluie
Printemps	Condensation et ventilation	5 à 30 %	< 12 °C	+ 2 m/sec	Neige ou pluie
Été	Ventilation	50 à 100 %	< 15 °C	+ 5 m/sec	Pluie
Automne	Condensation et ventilation	5 à 30 %	< 12 °C	+ 2 m/sec	Neige ou pluie

Adapté de Portree et Luczynski, 2004¹²

Il est aussi possible d'endiguer l'hygrométrie à l'aide de la condensation. La condensation de la vapeur d'eau sur une paroi est un phénomène physique qui se produit lorsqu'une masse d'air à un pourcentage donné d'humidité relative et à une température donnée atteint sa température de point de rosée. L'air qui est soufflé entre les deux films plastiques de recouvrement du toit des serres est capté à l'extérieur de la serre. Comme cet air est renouvelé de façon continue, la température du film intérieur de la serre est fortement influencée par la température à l'extérieur de la serre. C'est ce qui explique qu'au Québec, pendant trois saisons (hiver, printemps et automne), le phénomène de condensation est important dans les serres.

Les serres devraient toujours être équipées de films antigouttes. Les gouttes d'eau qui se forment sur les films plastiques causent une diminution de la pénétration de la lumière dans la serre. Pour une même quantité d'eau sur un film plastique, lorsqu'elle se présente sous forme de goutte, une partie de la lumière est réfléchiée, alors que lorsqu'elle est répartie en une mince couche sur le film, la lumière traverse sans subir de réflexion. Ce fait a été rapporté dans la littérature scientifique et technique à plusieurs reprises. Selon des études spécialisées, la formation de gouttes sur un film plastique réduit la pénétration de la lumière de 15 à 30 %.

¹² Portree, J. et A. Luczynski. 2004. Growing greenhouse peppers in British Columbia. A production guide for commercial growers. British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food et B.C. Greenhouse Grower's Association.

La ventilation « froide »

Lorsque la température extérieure est inférieure à 12 °C, l'aération de la serre devrait se faire doucement par une petite ouverture (entre 2 et 10 %) des panneaux de ventilation. Une trop grande ouverture ou une ouverture trop rapide provoque ce qu'on appelle en langage de conduite de culture, de la « ventilation froide ». L'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est tellement grand que l'air froid qui entre rapidement dans la serre provoque une chute d'air froid qui tombe directement sur les plantes. Ce courant d'air froid entraîne une brusque baisse de température des plantes qui arrêtent alors de transpirer, ce qui produit une interruption de l'activité des plantes. Un excès de ventilation par temps froid crée en outre un climat de serre inégal : il se forme plusieurs petites zones de climats différents dans la serre. Certaines zones seront plus fraîches et plus sèches, tandis que d'autres seront plutôt humides et chaudes.

Le refroidissement brusque des têtes provoque une diminution de la transpiration et de l'activité des plants. Les plants subissent un stress qui affecte négativement la photosynthèse. La production des sucres servant à la croissance sera alors ralentie. Le taux de croissance hebdomadaire peut être réduit jusqu'à 50 %. Comme l'évapotranspiration des feuilles de la tête n'est pas normale, il y a une augmentation de la pression à l'intérieur de la plante, reliée à la poussée racinaire. Ces conditions sont favorables à l'expression des caractères végétatifs. La chute d'air froid est favorable au développement de la moisissure grise (*Botrytis*) dans le haut des plants. À long terme, les plants vont perdre de leur vigueur.

SYMPTÔMES OBSERVABLES SUR LES PLANTS

- Les folioles des feuilles de la tête sont plutôt vert pâle et sont tachetées de petites chloroses jaunâtres.
- Les nervures et les pétioles sont violacés.
- Les folioles peuvent aussi être recourbées vers le haut, c'est-à-dire en forme de « cuillère ». L'enroulement en forme de « cuillère » indique que les feuilles tentent de se protéger contre le froid. Les chloroses résultent d'une mauvaise absorption de certains éléments minéraux comme le fer, le magnésium et le phosphore (coloration violacée).



COMMENT ÉVITER LA VENTILATION FROIDE

- Ne pas ouvrir les ouvrants trop rapidement le matin. Utiliser un maximum d'ouverture sur les ouvrants et ouvrir par petits coups : 1 % à la fois si possible. Montez sur un chariot pour mieux sentir le climat à la tête des plants.
- Chauffer avant de ventiler la serre, et attendre que la température de l'air ait atteint au moins 18-19 °C avant d'aérer de façon plus importante. Ouvrir les panneaux de ventilation graduellement en créant un équilibre entre l'air chaud qui sort et l'air froid qui entre.
- Utiliser un écart de plus de 1 °C entre les consignes de chauffage et de ventilation.

- Avec un système de chauffage à eau chaude, un excès de chauffage lorsque la radiation solaire est forte c'est à éviter. L'utilisation d'un minimum de chauffage (entre 45 et 60 °C) dans les tuyaux est essentielle pour activer le climat de la serre. Cependant pour éviter la surchauffe, on diminue la température de l'eau des tuyaux en fonction de l'augmentation de la radiation solaire. Il est recommandé de commencer la réduction du minimum de tuyau lorsque la radiation solaire atteint 250 W/m². Cet abaissement sera progressif jusqu'à 450 W/m², et au-delà de ce point, il faut avoir réduit la température de l'eau au seuil d'activation minimale. Selon l'état de la culture et du type de serre, ce seuil se situe entre 30 et 40 °C.

Brûlure marginale de la tomate

Ce phénomène est associé à un manque de calcium au niveau des extrémités des feuilles (photo de gauche ci-dessous). Le calcium se déplace à l'intérieur de la plante uniquement via les vaisseaux du xylème. Des racines jusqu'aux feuilles, le calcium suit le flux de l'eau servant à la transpiration. Lorsque les feuilles de la tête d'un plant ne transpirent pas assez, elles n'obtiennent pas suffisamment de calcium et les extrémités des folioles deviennent plus fragiles. La bordure des folioles devient jaune et se dessèche. La cause de la brûlure marginale est donc le manque d'activité, c'est-à-dire le manque de transpiration. Le problème se produit dans la tête du plant, sur les jeunes feuilles, mais il devient visible seulement sur les feuilles matures. Cette anomalie est directement reliée à climat de serre trop humide ou à une mauvaise gestion de l'humidité.



brûlure marginale peut devenir plus sévère et former des nécroses très importantes (photo du centre). Dans les cas plus sévères, le potassium serait aussi impliqué¹³. Le faible taux de transpiration affecterait aussi le déplacement du potassium vers les parties distales des folioles. De plus, le bore est aussi un élément dont le transport est limité aux vaisseaux du xylème. Le bore joue un rôle important dans le métabolisme du calcium par la plante. La sommation de ces trois facteurs pourrait expliquer les brûlures plus sévères. Attention! La brûlure marginale est une porte d'entrée pour la moisissure grise (photo de droite). Afin de prévenir cette maladie fongique, lorsque c'est possible, il est préférable d'élaguer les folioles desséchées.

Conduite climatique au printemps

Au printemps, la plus grande difficulté relative à la conduite climatique, c'est le contrôle de l'hygrométrie. Cette fois le problème est moins du côté de la haute humidité, que du côté de la « sécheresse ». La déshumidification se fait plus facilement parce que la température extérieure est quand même plus élevée qu'en mars et que l'on peut plus facilement aérer les serres. Lors d'une belle journée, l'ensoleillement peut facilement dépasser 800 W/m². Une telle radiation solaire qui frappe une serre pendant quelques heures apporte beaucoup de chaleur et demande aussi beaucoup de ventilation. Au début du printemps, l'air est sec (belle journée) et encore plutôt frais. Le pouvoir « asséchant » de cet air est très grand.

En début de journée, la transpiration des plants va permettre de maintenir un bon niveau d'humidité dans la serre, mais vers 11 h ça commence à devenir plus ardu. Il n'est pas rare de voir un taux d'humidité sous la barre du 50 % dans une serre où l'on aurait aéré sans modération. Avec une T° air de 24-25 °C, cette situation climatique représente aisément un déficit hydrique de 11-12 g/m³. On est alors loin de la zone de confort pour la tomate qui se situe entre 3 et 7 g/m³.

Si on monte sur un chariot à plateforme pour observer la tête des plants, on va peut-être y détecter les premiers signes d'un stress hydrique. Ces premiers signes ne sont pas toujours évidents. Comme sur la photo ci-dessous, on peut remarquer une foliole recourbée (flétrie) qui est nettement plus foncée que les autres. Il ne faut jamais oublier qu'une plante en stress hydrique perd toute sa capacité à utiliser efficacement la lumière solaire. Plutôt que de produire des sucres utiles à sa croissance, elle va plutôt consommer les sucres pour se maintenir en « vie ».

¹³ Publication 836 F. 2010. La culture des légumes de serre en Ontario. OMAFRA, 164 p.



QUELQUES CONSEILS POUR AMOINDRIR LE STRESS HYDRIQUE

- ⇒ En début de journée, lorsque le soleil monte à l'horizon, la priorité pour l'aération devrait être mise sur la T° air. Une seule mise en garde s'applique, il faut toujours éviter la ventilation « froide ».
- ⇒ Entre 11 h et 13 h, c'est-à-dire pendant la pointe de rayonnement solaire, on fait un compromis entre la T° air et le maintien de l'hygrométrie. Si le déficit hydrique ne peut pas être maintenu sous 7 g/m^3 , la T° aération devrait être ajustée autour de 26°C pour éviter de trop assécher la serre. Il faut s'assurer que la transpiration des plantes n'est pas entravée par une CE trop élevée ou un manque d'eau.
- ⇒ Après la pointe, lorsque le soleil commence à descendre, la priorité pour l'aération devrait être mise sur le déficit hydrique. Les rayons solaires frappent à ce moment la serre avec un angle plus bas et une bonne partie du rayonnement est réfléchi. La serre peut être refroidie plus facilement. De plus, une hygrométrie plus élevée dans la serre va aussi permettre de refroidir l'air ambiant. En diminuant l'aération dans cette portion de la journée, on réduit le nombre de renouvellements de l'air de la serre. Cette action permettra de : 1- conserver plus d'humidité dans la serre 2- refroidir plus facilement l'air ambiant 3- éviter la dérive du déficit hydrique au-delà de $8\text{-}9 \text{ g/m}^3$.

Conduite climatique par temps chaud

Une période de chaleur intense peut avoir un effet très négatif sur la tomate. Un bon contrôle du climat de la serre combiné à des plants de bonne vigueur peut prévenir ou minimiser ces problèmes. Mais pour y parvenir, il faut savoir ajuster la conduite climatique en conséquence. Un mauvais climat de serre, c'est souvent la conséquence d'une vigueur et d'une végétation insuffisante (photo ci-contre). Si la surface foliaire et la vigueur sont trop faibles, les plants n'ont pas la capacité de transpirer assez pour refroidir l'ambiance de la serre. Il en résultera une température de plante trop élevée. Très souvent, cette situation entraîne une floraison insuffisante, des grappes anémiques, une nouaison difficile, des fruits de moindre qualité, et finalement, un rendement bien moyen pour le restant de la saison.



Autant que possible, on essaie de maintenir une température de serre inférieure à 26-27 °C. Une température trop élevée entraînera des grappes faibles qui donneront peu de fleurs. La nuit constitue la meilleure période pour refroidir les plants lorsque la température de jour est trop chaude. Le refroidissement des cultures la nuit permet de conserver une bonne vigueur, ce qui va aider à donner des grappes plus fortes. Le maintien d'une floraison constante contribue à garder la culture en équilibre. Quand la température de nuit reste élevée, il devient alors très difficile de conserver la vigueur et la balance. Cependant, une culture bien vigoureuse peut supporter une bonne semaine de canicule sans trop de dégât.

Ce sont les plants eux-mêmes qui vont contribuer le plus au maintien d'un bon climat à l'intérieur de la serre. Avant l'arrivée des fortes chaleurs de l'été, il faut impérativement développer une surface foliaire importante. On favorise l'allongement des feuilles sur les plants par une conduite qui encourage la végétation. L'augmentation de la densité au printemps de 2,4 à 3,2 plants/m² est aussi recommandée. Une trop grande distance entre les têtes donne une température foliaire plus élevée, ce qui affecte la transpiration. Une transpiration insuffisante donne une hygrométrie dans la serre qui sera trop faible pour provoquer le refroidissement naturel de la serre et va entraîner une augmentation incontrôlée de la température de l'air. Soumis à un tel stress, les plants de tomate vont se protéger et vont essayer de se « maintenir en vie ». Cette situation amène une perte importante de sucres qui ne seront plus disponibles pour la croissance et la production. Dans le cas où une culture ne peut plus assurer le

refroidissement de la serre, il faut réduire ou couper l'injection du CO₂. L'injection de CO₂ va accroître l'inhibition de la croissance. On attendra que la croissance redevienne normale avant de reprendre l'utilisation de ce gaz.

Pour favoriser l'allongement des feuilles, c'est sur le climat de l'après-midi que l'on travaillera. Durant les belles journées, la conduite climatique vise à maintenir un bon taux d'humidité en après-midi alors que la transpiration des plants commence à ralentir. Pour ce faire, on referme les ouvrants de la serre afin de réduire le nombre de renouvellements de l'air dans la serre. En tenant un taux d'humidité confortable pour les plants (65 – 75 %), la transpiration va se maintenir et la production d'assimilats va se poursuivre. En évitant une situation de stress, les feuilles vont s'allonger, plutôt que de devenir courtes et épaisses.

Lors d'une journée ensoleillée, il est préférable de ventiler fortement tôt le matin. À ce moment, il est plus facile de « sortir » la chaleur de la serre que plus tard en journée. De plus, en début de journée le taux de transpiration des plants est suffisant pour contrebalancer un fort taux de renouvellement de l'air. Dans nos conditions, il faut toujours rester prudent pour ne pas ventiler avec excès. À la levée du jour, il n'est pas rare d'observer une température extérieure autour de 15 °C. Une température trop froide sur les têtes en même temps que l'on active la culture peut avoir des conséquences néfastes. Car le matin, il est aussi important de réchauffer le bas des plants avant la levée du jour pour éviter la condensation. Dès que le soleil réchauffe la serre, ce chauffage d'activation n'est plus nécessaire. Tant que le soleil monte à l'horizon, la ventilation pourra être importante, mais à l'approche du zénith, on commence à accorder toute l'importance au maintien de l'humidité.

Pour profiter de la radiation solaire qui est abondante en été, il peut être très profitable de mettre en pratique ces quelques principes :

- ⇒ Le premier principe, c'est d'appliquer une gestion climatique qui favorise les caractères végétatifs de la tomate. Le climat extérieur induit une réaction générative à la plante, il est donc important de conduire la culture en mode végétatif pour garder l'équilibre.
- ⇒ Autant que possible, on garde la température des plantes inférieure à 25-26 °C. Les plantes peuvent se refroidir par l'évapotranspiration. Tant que la transpiration va, tout va... De plus, la nuit constitue une période clé pour refroidir les plants lorsque la température de jour est incontrôlable. Le refroidissement des cultures la nuit va permettre de maintenir une bonne vigueur dans les têtes, ce qui est nécessaire pour assurer une bonne production. Le maintien d'une floraison constante contribue à garder la culture en équilibre. Quand la température de

nuit reste élevée, il peut devenir difficile de conserver la vigueur et la balance. La vigueur est importante pour aider la tomate à supporter une période de chaleur intense.

- ⇒ Dans le cas où une culture ne peut plus assurer le refroidissement de la serre, il faut couper l'injection du CO₂. L'injection de CO₂ va accroître l'inhibition de la croissance.
- ⇒ La conduite de l'aération est un facteur important pour la gestion du climat de la serre en été. Les panneaux de ventilation devraient rester ouverts 24 heures sur 24. Si les ouvrants sont fermés la nuit, la serre reste trop humide, l'air est stagnant et les plants deviennent « paresseux ». Quand il fait chaud, la ventilation de nuit doit être maximale. Le but est d'abaisser le plus bas possible la température de la serre, afin de permettre aux plants de récupérer. Si la température extérieure le permet, la T° air de la serre peut descendre jusqu'à 12-13 °C. En été, la température la plus basse est toujours obtenue vers 3-4 heures du matin. Cependant, il faut être prudent, car si on ne réchauffe pas suffisamment la base des plants avant l'arrivée du soleil, il y a un risque de condensation. Dès que le soleil devient assez intense, lorsque la radiation atteint 250-300 W/m² par exemple, on ferme tout.
- ⇒ Lorsque la journée s'annonce chaude et ensoleillée, il est préférable de ventiler fortement tôt le matin. À ce moment, il est plus facile de « sortir » la chaleur de la serre que plus tard en journée. De plus, en début de journée le taux de transpiration des plants est suffisant pour contrebalancer un fort taux de renouvellement de l'air.
- ⇒ Le jour, on aère au maximum, et ce, tant et aussi longtemps que le taux d'humidité de l'air ne devient pas limitant. Dès que le taux d'humidité baisse sous 70 %, c'est le moment de débuter à restreindre l'ouverture des ouvrants. En limitant le nombre de renouvellements d'air à l'heure, le taux d'humidité restera plus élevé. En évitant une chute d'humidité trop rapide et trop basse, on évite de stresser les plantes. S'il n'y a pas de stress hydrique, les plantes vont contrôler leur température par la transpiration et la vapeur d'eau émise dans l'air de la serre va créer un abaissement de la T° air de l'ordre de 2 à 3 °C par rapport à l'extérieur. Lorsque la T° air passe au-dessus de 26-27 °C, c'est le temps de faire un compromis entre l'humidité et la température. Dès lors, il est préférable de rouvrir progressivement les panneaux de ventilation.
- ⇒ Pour favoriser la formation d'une bonne surface foliaire, il faut principalement travailler sur le climat de l'après-midi. Lors des belles journées, la conduite du climat se fait de façon à maintenir un bon taux d'humidité en après-midi alors que la transpiration des plants commence

à ralentir. Pour ce faire, on referme les ouvrants de la serre afin de réduire le nombre de renouvellements de l'air dans la serre. En tenant un taux d'humidité confortable pour les plants (65 – 75 %), la transpiration va se maintenir et la production d'assimilats va se poursuivre. En évitant une situation de stress, les feuilles vont s'allonger, plutôt que de devenir courtes et épaisses.

Éviter la condensation sur les plantes

Généralement, la condensation se produit sur les plantes en début de journée. La nuit, pour obtenir la température ambiante désirée dans la serre, le besoin d'aération est beaucoup moins important. Il arrive très souvent que les volets d'aération restent fermés une bonne partie de la nuit et même toute la nuit. Ce confinement de la serre a pour effet de créer une stagnation de l'air et d'augmenter le niveau d'hygrométrie. L'humidité de l'air c'est une chose, mais lorsque l'air est stagnant c'est le niveau d'humidité à la surface des plantes qui compte et ça, le capteur d'hygrométrie de l'ordinateur ne le mesure pas. Lorsque la serre est fermée, le niveau d'humidité à la surface des feuilles et des tiges peut être jusqu'à 10 % plus élevé que celui rapporté par les capteurs. Dans une serre où l'aération de nuit a été insuffisante, le risque de condensation en début de journée est très élevé. La condensation sur les plants va affecter négativement la qualité des fruits et va accroître les problèmes de maladies fongiques. Afin de prévenir la condensation, il est recommandé de :

- Maintenir les ouvrants de la serre ouverts toute la nuit. L'ouverture devrait être proportionnelle à la température extérieure.
- Si la serre doit absolument être fermée pour la nuit, il faut mettre en marche les ventilateurs de recirculation (HAF) pour assurer un mouvement minimal de l'air.
- Une bonne heure avant le lever du jour, relancer le chauffage à la base des plants et cette relance se fait simultanément à la ventilation de la serre.
- Ça ne sert absolument à rien de chauffer une serre fermée pour déshumidifier l'air ambiant. L'effet obtenu sera l'inverse de l'effet désiré. Le chauffage stimule la transpiration des plantes, si l'eau produite ne peut pas être évacuée

par la ventilation, le niveau d'humidité va tout simplement augmenter. En été, c'est l'aération de la serre qui est le principal outil de déshumidification.

Conduite climatique par temps pluvieux

Lors d'une journée pluvieuse, la gestion de l'humidité n'est pas facile. Comment faire pour éviter que le climat de la serre ne devienne trop humide? Voici quelques pistes qui devraient aider à créer un climat plus « sec » pour les plantes :

- Rapprocher les consignes de chauffage et de ventilation afin d'augmenter les échanges d'air avec l'extérieur.
- Chauffer la serre sans trop faire transpirer les plants, car le problème d'humidité va s'aggraver. L'humidité dans la serre provient principalement de la transpiration des plants, donc si vous utilisez un minimum de température dans les tuyaux de chauffage au sol pour tenter de chasser l'humidité ça ne fonctionnera pas. Pour ce type de journée, le but du chauffage est d'assurer un bon mouvement d'air dans la serre pour faciliter le renouvellement de l'air.
- Maintenir un minimum d'ouverture sur les ouvrants qui est fonction de la T° extérieure. Avec 16 °C, on parle d'un minimum d'au moins 25 %. La règle est de toujours chauffer en premier et d'ouvrir en deuxième.
- Règle du pouce : « augmenter la T° air de 1 °C permet de réduire l'humidité de 5 % ». D'une façon simplifiée, on pourrait dire que l'air extérieur à 16 °C et 90 % d'humidité relative, lorsqu'il se retrouve dans la serre et qu'on le chauffe à 19 °C perd 15 % d'humidité, ce qui permet de déshumidifier la serre.
- Il ne faut jamais forcer les plants de tomate à transpirer si l'air de la serre est très humide. Cette action aura pour effet de faire augmenter la pression racinaire et d'accroître les risques de Botrytis, de microfendillement et de mauvais mûrissement.
- Si possible, en après-midi faire une hausse de T° air de 1 °C à 1,5 °C en maintenant les ouvrants ouverts, pour bien assécher l'air. Le but est de créer un effet reproductif pour compenser l'effet du climat. Ça va aussi permettre de faire transpirer les plants et de les faire foncer avant la nuit. La durée pourrait être de 1 à 2 heures.

5.4 LE CONTRÔLE DU CO₂

Afin d'optimiser l'enrichissement carboné, les niveaux de CO₂ doivent être reliés aux conditions climatiques extérieures et celles présentes dans la serre. La technique la plus appropriée est l'utilisation d'un ordinateur de contrôle climatique. Les niveaux désirés sont fixés en tenant compte de divers facteurs qui affectent les besoins en CO₂ de la culture (âge de la culture, intensité lumineuse, température, équilibre génératif/végétatif, etc.) et les facteurs affectant les pertes de CO₂ (position des ouvrants et vitesse du vent). Généralement, les consignes de démarrage et d'arrêt de l'enrichissement carboné sont déterminées par des niveaux minimaux et maximaux de CO₂ mesurés dans les serres. L'utilisation de contrôleurs climatiques intégrés permet une lecture en temps réel et un archivage sous forme graphique permettant l'analyse de l'évolution des niveaux de gaz carbonique dans le temps en fonction de divers paramètres climatiques. Ceci facilite par la suite la prise de décision pour une gestion plus optimale du CO₂. Afin de bien comprendre le CO₂, l'annexe 5 fournie de plus amples détails techniques.

Stratégie d'enrichissement carboné

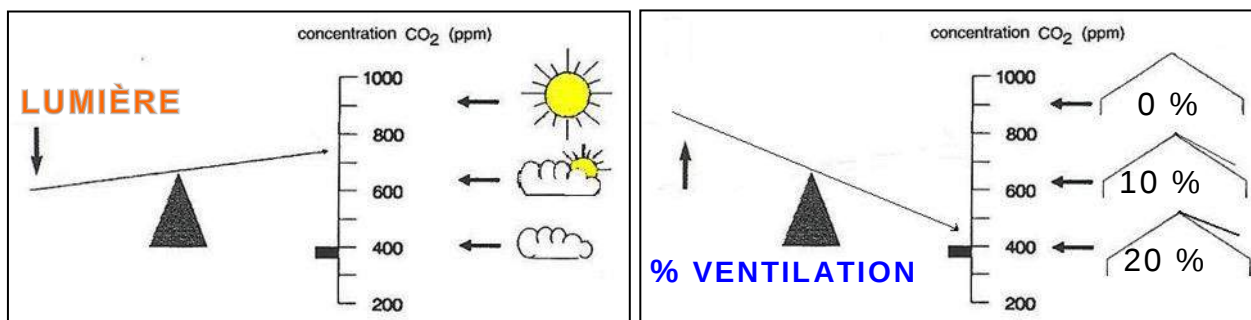
Comme vu dans la section précédente, le besoin de la tomate pour le CO₂ varie en fonction de la lumière. De plus, il y a une interaction avec le taux de ventilation qu'il faut considérer. Lorsque la ventilation de la serre s'accroît, il est normal de réduire l'enrichissement. Ceci est justifié par des considérations économique et environnementale. Au-delà d'un certain pourcentage d'ouverture des ouvrants d'une serre, si l'enrichissement carboné se poursuit, une grande portion est directement perdue à l'extérieur et à ce moment les coûts dépassent les bénéfices. De plus, on se doit de minimiser les pertes de CO₂ dans l'atmosphère, car le rôle que joue ce gaz sur le réchauffement de la planète est aujourd'hui bien connu...

À quel pourcentage d'ouverture faudrait-il arrêter ou réduire fortement l'injection?

- ✓ Il est difficile de répondre à cette question avec un nombre précis, car cela dépend de plusieurs facteurs : type de serre, type de ventilation, vitesse du vent, direction du vent, technique d'injection, etc. Normalement, c'est autour de 20 % où l'on devrait arrêter ou réduire fortement l'enrichissement.
- ✓ Un autre point à considérer c'est l'utilisation d'un système de stockage de l'eau chaude. Ce système permet de brûler du gaz naturel le jour, même s'il n'y a pas de demande en chauffage et de stocker la chaleur dans un réservoir pour une utilisation différée, comme pendant la nuit.

De cette façon, l'enrichissement carboné peut être fait le jour sans « gaspillage » d'énergie. Dans ce cas, l'influence du niveau de ventilation est de bien moindre importance.

La représentation schématique suivante illustre l'effet inverse de la lumière et de la ventilation sur la concentration désirée en CO₂ dans la serre.



Adapté de Timmerman et Kamp, 2003¹⁴

Sur une base quotidienne, l'injection de CO₂ devrait débuter une fois que l'activité des plantes est bien commencée, soit au moins 1 heure après le lever du soleil. De même pour l'arrêt de l'injection, c'est important de tenir compte de l'activité des plantes. Si la lumière est bonne, on peut arrêter environ 1 heure avant le coucher du soleil, par contre en période nuageuse, on arrête au moins 2 heures avant. En fait, en fin de journée, on laisse la culture consommer le CO₂ qui a été injecté, et ce, avant la tombée de la nuit.

La plage optimale des concentrations en CO₂ désirées pour la tomate de serre est entre 600 et 1 000 ppm. Au-delà de 1 500 ppm, l'efficacité et la rentabilité de l'enrichissement carboné se mettent à diminuer rapidement. Pendant la nuit, l'injection est inutile et même nuisible.

Stratégie d'enrichissement en fonction des saisons

Durant l'hiver et le début du printemps, le niveau visé devrait être de l'ordre de 700 ppm en moyenne durant toute la journée. La concentration désirée devrait suivre l'activité des plantes (tableau 5.3). Généralement en cette période de l'année, la ventilation est très faible ce qui réduit au minimum les pertes de CO₂ vers l'extérieur des serres. La consommation de CO₂ par l'activité photosynthétique des plants est assez faible en raison de la limitation de la lumière, ce qui fait que l'on atteint la concentration désirée en injectant peu de CO₂. C'est durant cette période que les besoins en chauffage

¹⁴ Timmerman, G.J. and P.G.H. Kamp. 2003. *Computerised Environmental Control Greenhouses*. PTC⁺, The Netherlands, 265 p.

sont les plus grands, ce qui fait que le CO₂ provenant de la combustion est amplement suffisant pour combler les besoins de la culture.

En conditions printanière et automnale, les concentrations visées seront grandement influencées par l'ouverture des toits et par une activité photosynthétique plus intense. Les apports en chauffage sont encore requis, surtout en début de journée, ce qui permet l'utilisation du CO₂ issu de la combustion sans système de stockage de la chaleur. En matinée, on profitera d'une ventilation encore faible pour viser 1 000 ppm. Pour le reste de journée, c'est l'ouverture des toits qui sera le principal facteur limitatif de la concentration à maintenir dans la serre.

En été, l'enrichissement carboné est beaucoup fonction des équipements que l'on possède, car les besoins en chauffage sont insuffisants pour faire de l'enrichissement carboné soutenu et d'autre part, la ventilation est presque toujours maximale. Les producteurs qui possèdent un réservoir de stockage de l'eau pourront poursuivre plus facilement l'injection de CO₂ pendant le jour. L'utilisation du CO₂ liquide est une autre option, mais cette dernière est moins rentable.

Malgré les limites énumérées précédemment, l'enrichissement carboné est tout de même possible. Il faudra profiter de la fraîcheur du matin pour en faire. La concentration pourra être montée entre 500 et 700 pour quelques heures et au fur et à mesure que l'ouverture des toits augmente, le taux de CO₂ visé diminuera. Pour le reste de la journée, l'objectif sera de maintenir la concentration à 380 ppm, ce qui en période de grande ventilation se fera naturellement, sans apport de CO₂ supplémentaire.

Tableau 5.2 Exemple d'une stratégie d'enrichissement carboné pour une serre qui ne possède pas de système de stockage de chaleur.

Saison	CO ₂ désirées (ppm)			
	Ouverture de toits			
	Matin	Avant-midi	Midi	Après-midi
Hiver	500 0-2 %	700 0-2 %	700 - 1 000 0-2 %	< 500
Printemps	700 1-5 %	700 - 1 000 5-10 %	400 - 1 000 5-20 %	500 - 700 5-10 %
Été	500 - 700 5-20 %	380 > 20%	380 > 20%	380 > 20%
Automne	700 1-5 %	700 - 1 000 5-10 %	400 - 1 000 5-20 %	500 - 700 5-10 %

CHAPITRE 6

NUTRITION MINÉRALE ET CONDUITE DE L'IRRIGATION

6.1 ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET SOLUTIONS NUTRITIVES

L'irrigation en culture hors sol s'effectue avec une solution nutritive complète (tableaux 6.1 et 6.2). La solution nutritive de base (tableau 6.1) est appropriée pour la préparation des plants en pépinière. Il faut juste ajuster la CE en fonction des recommandations qui sont faites dans le Chapitre 3. Normalement, la CE est augmentée seulement avec les macroéléments. Il est préférable de ne pas augmenter la concentration des oligoéléments afin d'éviter un problème de toxicité.

Les recommandations du chapitre 6 ont été faites seulement pour la culture en système ouvert. Pour le système fermé, c'est-à-dire avec recyclage de la solution drainée, on ne peut pas faire de recommandation simple sans tenir compte de la solution à recycler.

Après la plantation en serre, on utilise l'une des solutions nutritives du tableau 6.2 selon que l'on a un système de production ouvert ou fermé. De la plantation jusqu'à la nouaison du 4^e bouquet, il est préférable d'ajuster la solution nutritive en réduisant de 1 mmol/l le K et en augmentant de 0,45 mmol/l le Ca. Si les plants sont en excès de végétation, il est souhaitable de réduire l'azote par 1 ou 2 mmol/l. Si les têtes présentent le jaunissement typique d'un manque de Fe, on peut doubler la concentration.

Après la nouaison du 4^e bouquet, et ce jusqu'à la première récolte (nouaison 7-8^e bouquet), on ajuste la solution pour satisfaire les besoins grandissants en potassium occasionnés par la présence de fruits. Le K peut être augmenté de 1 à 1,5 mmol/l. Après la nouaison du 10^e bouquet, on peut rétablir la concentration du K au niveau de base. Par la suite, c'est la lecture du plant et la qualité des fruits qui vont permettre au producteur de déterminer s'il faut réutiliser une solution nutritive « extra-K ».

En période où le risque de nécrose apicale est élevé, il est préférable de modifier la concentration de certains éléments pour favoriser l'absorption du calcium. La concentration en calcium dans la solution d'apport doit être augmentée à 6 mmol/l. La valeur cible dans le substrat devient alors entre 8 et 9 mmol/l, pour une conductivité électrique de référence de 3,7 mS/cm. Quant au potassium, il faut abaisser la concentration à 8,5 mmol/l et viser une concentration autour de 8 mmol/l dans le substrat. Le chlorure de calcium représente un bon choix pour accroître l'apport de calcium, car le chlorure favorise l'absorption de ce dernier. Le phosphore et le bore sont deux autres éléments qui jouent un

rôle semblable. Les concentrations devraient être majorées afin d'obtenir dans le substrat 1,5 mmol/l et 70 µmol/l respectivement. La forme cationique de l'azote, l'ammonium (NH_4^+) est un élément qui compétitionne fortement avec l'absorption du calcium. Le nitrate de calcium contient 1 % d'azote sous cette forme. Si la pourriture apicale apparaît, il est fortement recommandé de ne plus utiliser d'ammonium. Le nitrate de calcium standard pourra alors être remplacé par une formulation spéciale qui ne contient pas de cet élément.

Il est recommandé de faire analyser régulièrement les solutions de substrat et de drainage pendant la saison de culture. Les résultats sont ensuite comparés avec les valeurs optimales et en cas de dérive, on agit rapidement pour rétablir l'équilibre nutritif (tableau 6.3). Lorsqu'il y a une carence minérale observable et qu'il est difficile d'en déterminer la cause, une analyse de feuilles peut être nécessaire. Le tableau 6.4 présente les concentrations optimales des tissus foliaires de la tomate selon 2 stades de développement.

Conduite de la conductivité électrique (CE)

Pour la tomate, la CE du substrat de culture (environnement des racines) est normalement maintenue entre 3,5 et 5,5 mS/cm. La CE a une influence importante sur l'équilibre génératif/végétatif et sur la qualité des fruits. Pour les tomates de type charnu et en grappe, la CE de référence dans le substrat de culture est 4,0 mS/cm. Le tableau qui suit indique les ajustements à faire selon les conditions culturales :

CE de référence : 4,0 mS/cm		
	CE + basse	CE + élevée
Début de culture		X
Tomate de petit calibre : cocktail et cerise		X
Automne - hiver		X
Printemps - été	X	
Temps sombre		X
Temps ensoleillé	X	
Hygrométrie élevée		X
Hygrométrie faible	X	
Plants trop végétatifs		X
Plants trop génératifs	X	

Le suivi de la CE du substrat se fait quotidiennement par extraction de la solution du substrat ou encore plus simplement en mesurant la CE de la solution drainée en dehors des sacs de culture. Régulièrement, il faut envoyer de la solution au laboratoire pour valider les mesures de CE et la concentration des éléments minéraux.

Tableau 6.1 Solution nutritive de base pour la culture hydroponique hors-sol de la tomate de serre.

	Solution de base	
Macroéléments	PPM	mmol/l
Azote (NH ₄)	17	1,25
Potassium (K)	340	8,75
Calcium (Ca)	200	5,0
Magnésium (Mg)	48	2,0
Azote (NO ₃)	190	13,75
Phosphore (P)	39	1,25
Sulfate (SO ₄)	120	3,75
Oligoéléments	PPM	µmol/l
Fer (Fe)	0,84	15,0
Manganèse (Mn)	0,55	10,0
Zinc (Zn)	0,33	5,0
Bore (B)	0,33	31,0
Cuivre (Cu)	0,05	0,75
Molybdène (Mo)	0,05	0,5
CE de référence : 2,3 mS/cm		

Adapté¹⁵ de Sonneveld et Straver, 1994, et Pivot *et al*, 1995.

¹⁵ : C. Sonneveld and N. Straver. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates, Maart 1994. No. 8 Serie: Voedingsoplossingen glastuinbouw.

Pivot, D., Gilli, C. et C. Carlen. 1995. Données de base pour la fumure des cultures de légumes sur substrat. Agroscope, Suisse.

Tableau 6.2 Solutions nutritives pour la culture hors-sol de la tomate de serre.

	Solution pour SF ¹		Solution pour SO ²	
CE de référence	1,6 mS/cm		2,6 mS/cm	
Macroéléments	PPM	mmol/L	PPM	mmol/L
Azote (NH ₄)	14	1,0	17	1,2
Potassium (K)	253	6,5	370	9,5
Calcium (Ca)	102	2,55	216	5,4
Magnésium (Mg)	24	1,0	58	2,4
Azote (NO ₃)	151	10,75	224	16,0
Phosphore (P)	39	1,25	46	1,5
Sulfate (SO ₄)	144	1,5	423	4,4
Oligoéléments	PPM	μmol/L	PPM	μmol/L
Fer (Fe)	0,84	15,0	0,84	15
Manganèse (Mn)	0,55	10,0	0,55	10
Zinc (Zn)	0,26	4,0	0,33	5
Bore (B)	0,22	20,0	0,33	31
Cuivre (Cu)	0,05	0,75	0,05	0,75
Molybdène (Mo)	0,05	0,5	0,05	0,5

1 : Système de culture en circuit fermé avec recyclage de la solution de drainage.

2 : Système de culture à drainage ouvert.

Adapté¹⁶ de Pivot *et al*, 1995.

¹⁶ : Pivot, D., Gilli, C. et C. Carlen. 1995. Données de base pour la fumure des cultures de légumes sur substrat. Agroscope, Suisse.

Tableau 6.3 Concentrations optimales en éléments minéraux dans le substrat de culture pour la tomate en culture hydroponique

Concentrations optimales des éléments minéraux				
CE	3,7 mS/cm (référence)		2,5 - 5,5 mS/cm (zone optimale)	
pH	5,7		5,5 – 6,2	
Cations	PPM	mmol/L	PPM	mmol/L
Azote (NH ₄)	< 7	< 0,5	1 – 7	0,1 – 0,5
Potassium (K)	312	8,0	207 - 413	5,3 – 10,6
Calcium (Ca)	280	7,0	264 - 532	6,6 – 13,3
Magnésium (Mg)	97	4,0	72 - 146	3,0 – 6,0
Sodium (Na)	< 92	< 4,0	23 - 184	1,0 – 8,0
Anions				
Azote (NO ₃)	322	23,0	119 - 352	8,5 – 25,0
Phosphore (P)	31	1,0	22 - 47	0,7 – 1,5
Sulfate (SO ₄)	480	5,0	337 - 865	3,5 – 9,0
Chlore (Cl)	< 142	< 4,0	35 - 426	1,0 – 12,0
Potassium (K)	312	8,0	207 – 414	5,3 – 10,6
Bicarbonates (HCO ₃)	< 61	< 1,0	6 - 61	0,1 – 1,0
Oligoéléments	PPM	µmol/L	PPM	µmol/L
Fer (Fe)	1,4	25,0	0,7 – 2,18	13,0 – 38,0
Manganèse (Mn)	0,38	7,0	0,28 - 0,55	5,0 – 10,0
Zinc (Zn)	0,5	7,0	0,23 – 0,69	3,5 – 10,5
Bore (B)	0,55	50,0	0,27 – 0,81	25,0 – 75,0
Cuivre (Cu)	0,05	0,75	0,025 – 0,069	0,4 – 1,1
Molybdène (Mo)	0,05	0,5	0,03 – 0,08	0,3 – 0,8

Adapté¹⁷ de Ctifl, 1995 et Pivot *et al*, 1995.

¹⁷ Ctifl. Maîtrise de l'irrigation fertilisante, juin 1995. Page 198.

Pivot, D., Gilli, C. et C. Carlen. 1995. Données de base pour la fumure des cultures de légumes sur substrat. Agroscope, Suisse.

Tableau 6.4 Teneur¹⁸ normale en éléments minéraux dans les feuilles de tomate en pourcentage (%) ou en ppm de matière sèche.

Éléments	Concentrations optimales	
	Sans fruit	Avec fruits
	(%)	
N	4,0 – 5,0	3,5 – 4,0
P	0,5 – 0,8	0,4 – 0,6
K	3,5 – 4,5	2,8 – 4,0
Ca	0,9 – 1,8	1,0 – 2,0
Mg	0,5 – 0,8	0,4 – 1,0
S	0,4 – 0,8	0,4 – 0,8
	(ppm)	
Fe	50 - 200	50 - 200
Zn	25 - 60	25 - 60
Mn	50 – 125	50 – 125
Cu	8 - 20	8 - 20
B	35 - 60	35 - 60
Mo	1 – 5	1 – 5

6.2 CONDUITE DE L'IRRIGATION

Arroser en fonction de la sommation du rayonnement solaire (SRG)

La consommation en solution nutritive de la tomate dépend de sa transpiration. Environ 90 % de l'eau consommée sert à la transpiration et seulement 10 % sert à la croissance. La transpiration (consommation) est influencée par plusieurs facteurs, dont le rayonnement solaire, le déficit hydrique, le mouvement de l'air dans la serre et la position des tuyaux (eau chaude) ou des tubes de chauffage (air chaud). Les deux principaux sont le rayonnement solaire global et le déficit hydrique de l'air. L'énergie lumineuse est de loin le facteur le plus important. Quant aux taux de transpiration des plants, il sera accéléré ou ralenti selon que l'air sera plus ou moins saturé en eau.

¹⁸ http://www.haifa-group.com/french/knowledge_center/crop_guides/tomato/plant_nutrition/leaf_analysis_standards/

La transpiration de l'eau à la surface des feuilles, des tiges et des fruits, permet à la plante d'abaisser sa température. Les feuilles d'une plante sont d'excellents capteurs solaires. Quand le rayonnement solaire augmente, les feuilles s'échauffent, ce qui provoque une augmentation du taux de transpiration. Il y a une relation directe entre la force du rayonnement solaire et l'intensité de la transpiration. C'est pour cette raison que plusieurs programmes informatiques de gestion de la conduite de l'irrigation utilisent le rayonnement solaire (intensité en W/m^2 et sommation en J/cm^2). C'est surtout pendant les mois où la radiation solaire est forte où ce facteur influence le plus la transpiration. Dans la figure 1, on peut voir comment le chauffage et le rayonnement solaire peuvent affecter la transpiration pour chaque mois de l'année. Comme l'ensoleillement est plus important au Québec par rapport aux Pays-Bas, il faut considérer que l'influence du rayonnement solaire est plus importante chez nous.

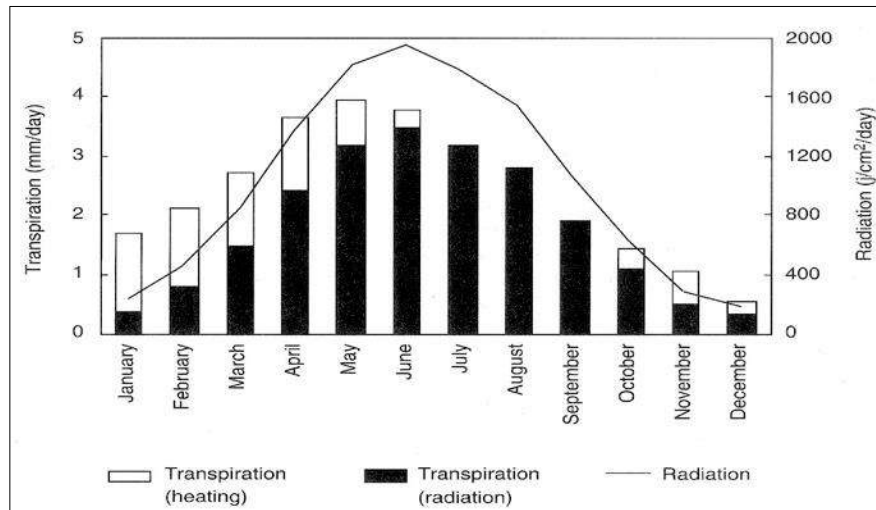


Figure 6.1 Importance de l'influence du chauffage et du rayonnement solaire global sur la transpiration d'une culture de tomates sur toute l'année aux Pays-Bas. Adapté de Heuvelink, 2005¹⁹.

Pendant les saisons froides, la ventilation est diminuée. Le déficit hydrique à l'intérieur de la serre devient alors le paramètre déterminant de la transpiration. Le climat de la serre est créé par le chauffage qui entraîne la transpiration de façon indirecte. À cette période, la condensation de l'eau sur la toiture a un effet marqué sur la déshumidification. Les autres facteurs qui peuvent affecter l'évapotranspiration sont le déplacement de l'air dans la serre et la position des tuyaux de chauffage (eau chaude) ou des tubes de chauffage (air chaud).

¹⁹ Heuvelink, E. 2005. Tomatoes. CABI Publishing, page 175.

En été, la gestion de l'irrigation devient le facteur clef de la réussite. Une irrigation bien conduite va permettre un bon développement de la végétation qui se traduira par l'obtention de rendements optimaux. En outre, maintenir l'évapotranspiration des plants active constitue le meilleur moyen de refroidir l'air ambiant. Les plants peuvent contribuer avantageusement au maintien d'un bon climat à l'intérieur de la serre. Une mauvaise compréhension des besoins des plants de tomate entraîne très souvent une conduite de l'irrigation inappropriée. Tout stress hydrique ressenti par la plante se traduit inévitablement en perte de production.

Pour évaluer les besoins en eau d'une culture mature, on peut utiliser la règle du « pouce » suivante :

$$\text{Consommation (ml/m}^2\text{)} = 2,0 \text{ à } 2,5 \times \text{SRG}$$

Par exemple, pour une journée de 1 000 joules/cm² (SRG), il faudrait donner de 2 000-2 500 ml/m² pour combler le besoin en transpiration d'une culture de tomates. Pour une serre plastique, le facteur de 2,0 est bon et le 2,5 s'applique surtout aux serres de verre. Ce facteur est aussi fonction de la vigueur des plants et de la qualité des outils de production. À partir de cette règle de base, il est possible d'établir une règle d'arrosage basée sur la lumière. Selon le taux drainage désiré, la règle est ajustée en conséquence. Entre 2,4 à 3,2 plants/m², la densité a peu ou pas d'influence sur cette règle. Le taux de transpiration par plant sera plus important pour une faible densité par rapport à une forte densité, mais au m², ça revient pratiquement au même.

Principes de base d'une bonne stratégie d'irrigation

La conduite journalière de l'irrigation se divise en quatre périodes : le remouillage, la phase active, le ressuyage et la nuit.

PÉRIODE DE REMOUILAGE

On amorce les arrosages après que les plants ont commencé à transpirer afin d'éviter d'exposer les racines à des excès d'eau ou encore de provoquer une trop forte pression racinaire. Si les plants ont été activés avec le chauffage, on démarrera l'arrosage 1,5 à 2,5 h après le lever du soleil. Si on se base sur le rayonnement solaire, on suggère d'effectuer le premier arrosage qu'après avoir accumulé 100 à 150 J/cm². Le départ du premier cycle d'arrosage est aussi souvent retardé lors des journées

pluvieuses. La journée démarre avec 2 à 3 arrosages à heures fixes. Le drainage devrait débuter avec le 3^e arrosage. De façon imagée, on dira que les premiers arrosages ne sont pas pour les plantes mais plutôt pour le substrat, puisqu'ils servent à lui redonner l'eau perdue pendant la phase de ressuyage et pendant la nuit. L'utilisation d'une balance, d'un lysimètre ou d'un tensiomètre permet au producteur de déterminer plus facilement le début de la consommation d'eau par les plantes.

PÉRIODE ACTIVE

L'étendue de cette période est établie de manière à couvrir autour de 60 % de la lumière reçue au cours d'une journée. Elle sera plus ou moins longue selon les saisons. Globalement, elle débute entre 9-10 h et se termine entre 14-16 h. Pendant cette phase, les plants ne doivent jamais manquer d'eau. Les arrosages sont effectués en fonction de l'ensoleillement et chaque cycle d'arrosage provoquera un drainage entre 25 et 70 %. Les valeurs élevées de plus de 50 % sont seulement pour le milieu de la journée lorsque l'ensoleillement est à son maximum et qu'il fait chaud dans la serre. Lors des journées nuageuses, on espace les cycles d'arrosage.

PÉRIODE DE RESSUYAGE

Après la phase d'arrosage intense, il faut ralentir la fréquence des apports d'eau. Selon la quantité de lumière et la température, il y aura entre 0 et 5 cycles supplémentaires. La fréquence d'arrosage se fait selon le rayonnement solaire ou à heures fixes. Ces arrosages devraient donner peu de drainage, car à cette étape, on vise à amorcer le ressuyage du milieu d'enracinement pour laisser pénétrer l'oxygène. Le taux de respiration des racines en croissance est élevé et c'est essentiel que l'apport en oxygène ne soit pas limité.

Le dernier cycle d'arrosage est effectué 1,5-2 h avant le coucher du soleil lors des journées ensoleillées et 3-4 h avant le coucher du soleil lors des journées nuageuses. Il faut également tenir compte du rayonnement solaire et s'assurer que le dernier arrosage soit complété au moment où il reste à venir 150-200 J/cm². Le type de substrat de culture, son volume et le suivi du taux de drainage quotidien sont d'autres éléments à considérer pour décider de l'heure d'arrêt de l'arrosage.

PÉRIODE DE NUIT

Le ressuyage débute avant le coucher du soleil, mais le substrat s'assèche de façon plus marquée au cours de la nuit. L'objectif d'aération de l'environnement racinaire se poursuit durant cette période. Ce stade est très critique pour la santé et le développement des racines. Les plantes sont alimentées par la réserve en eau utile des sacs. Normalement, on n'arrose pas la nuit. Un arrosage est requis seulement lorsque le chauffage est intense (temps très froid) ou encore, pendant les périodes de chaleur intense en été. L'assèchement du substrat pendant la nuit est normalement entre 8 et 25 % du volume d'eau selon l'état du système racinaire et de l'effet recherché sur l'équilibre génératif/végétatif.

Stratégie d'irrigation en été

Pendant les mois de mai, juin et juillet, on atteint ou dépasse 2 500 J/cm² une journée sur trois approximativement. La consommation d'eau à cette période se situe entre 5,0 et 6,0 L/m². On dépasse parfois ces seuils lors des journées très chaudes. Avec un taux de drainage d'environ 30 %, il faut donc apporter de 7,0 à 8,5 L/m² d'eau pendant la journée.

Les arrosages doivent être répartis pendant la journée de façon à ce que les plantes ne manquent jamais d'eau. La quantité est importante, mais la répartition journalière l'est tout autant. La figure 6.2 donne un exemple de répartition des arrosages en fonction de l'ensoleillement. La ligne en jaune du graphique indique le pourcentage de solution nutritive qui est drainée. À l'exception de la période de remouillage, on remarque que la consommation suit l'évolution de la radiation solaire. Entre 9 h et 11 h, les arrosages sont faits en fonction de l'ensoleillement et chaque cycle d'arrosage donne un drainage entre 20 et 50 %. Entre 11 h et 14 h, on suit toujours la lumière et à chaque arrosage, on vise un drainage de 40 à 70 %. Après 16 h, on remarque que l'apport diminue par rapport à la lumière reçue, c'est la phase de ressuyage.

Il est fréquent de constater qu'une culture ne consomme pas autant qu'elle le devrait. Ce problème se traduira rapidement par une baisse de productivité. Voici quelques explications possibles :

- Les plants manquent de vigueur;
- Le système racinaire est en mauvais état ou trop faible;
- La CE du substrat est trop élevée;
- Une aération de la serre inadéquate, une ventilation par à-coups, une ventilation « froide », une ventilation excessive ou trop faible;
- L'hygrométrie est trop élevée ou trop basse.

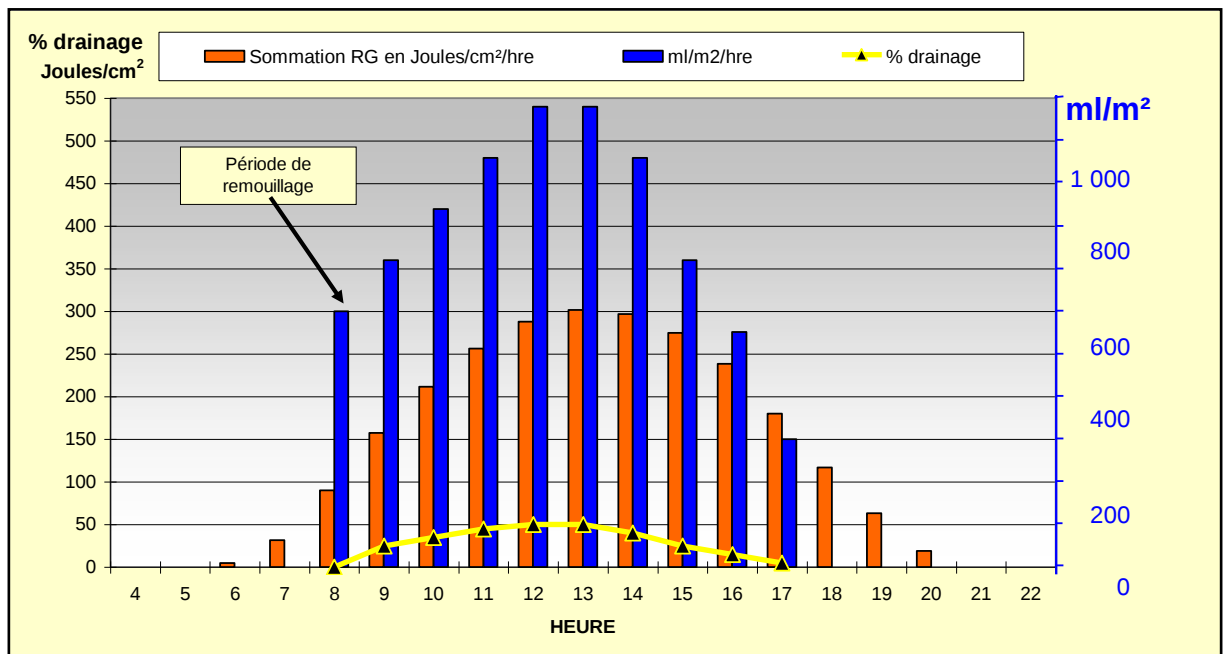


Figure 6.2 Exemple de répartition de l'irrigation en ml/m²/h pour une journée de 2 500 J/cm² du mois de mai en fonction de la sommation du rayonnement global.

DÉTAILS DE LA STRATÉGIE D'ARROSAGE

- On amorce les arrosages après que les plants ont commencé à transpirer, afin d'éviter de noyer les racines ou encore de provoquer une trop forte pression racinaire.
- Règle générale en culture hors sol, on peut commencer à arroser environ 2-3 heures après le lever du soleil, surtout si on active les plants avec le chauffage. Donc, le premier cycle d'irrigation se fait autour de 8-8h30. On peut aussi se servir du rayonnement solaire pour fixer le premier arrosage. On commence les arrosages après avoir reçu entre 100 et 150 joules/cm².
- On fait 2 à 3 arrosages à fréquence fixe pour que le drainage débute (très légèrement) avec le 3^e arrosage. On pourrait dire que ces premiers arrosages ne sont pas pour les plantes, mais plutôt pour le substrat, ils servent à remouiller le sac de culture et à reprendre l'eau perdue pendant la phase de ressuyage.

- Pendant la phase active, entre 9 h et 11 h, les arrosages sont faits en fonction de l'ensoleillement et chaque cycle d'arrosage draine entre 20 et 50 %.
- Entre 11 h et 14 h, on suit toujours la lumière et le drainage de chacun des arrosages est de 40 à 70 %.
- On arrête les irrigations quand il reste encore de 150 à 200 joules/cm² à recevoir, soit généralement entre 2 à 3 heures avant le coucher du soleil. Mais attention, lors des journées très chaudes, il faut arrêter plus tard en fin de journée, surtout si l'humidité relative est basse, en bas de 60 %.
- Avant le coucher du soleil, il faut laisser suffisamment de temps au substrat de culture pour se ressuyer et permettre une bonne oxygénation, c'est nécessaire pour la respiration des racines.

GESTION DE LA CE

Lorsqu'il fait très chaud et que l'ensoleillement est important, la tomate tolère mal une salinité élevée. En été, il faut abaisser la conductivité électrique du substrat. Les limites acceptables dans l'eau de drainage passent de 3,5-5,5 mS/cm à 3,0-3,5 mS/cm. La conductivité de la solution d'apport devra alors se situer entre 2,5 et 2,8. Idéalement, on réajuste quotidiennement la conductivité en fonction de la lumière et de la chaleur afin de maintenir la CE stable dans la solution de lessivage toute la journée. Cet ajustement en fonction de la lumière se pratique uniquement pendant la phase active. À partir de 400 W/m², la CE de l'eau d'arrosage est réduite de 0,3 mS/cm, à 700 W/m², la réduction est de 0,6 mS/cm. Entre 400 et 700 W/m², l'ajustement se fait progressivement en fonction du niveau du rayonnement solaire. Lorsque la solution d'apport a une conductivité se situant sous la barre de 2,5 mS/cm, il est nécessaire de porter une attention particulière aux oligoéléments, principalement au fer et au manganèse. En diminuant la CE et en augmentant le lessivage, des carences en oligoéléments surviennent parfois. Si c'est le cas, il faudra augmenter ces deux éléments dans la solution d'apport.

Adapter la conduite de l'irrigation en fonction de l'équilibre des plants

La méthode d'irrigation agit sur l'équilibre de la culture. Le tableau 6.5 présente les stratégies d'arrosage pour obtenir l'effet recherché.

Tableau 6.5 Adaptation de la conduite de l'irrigation en fonction de l'équilibre.

	Effet recherché sur la tomate	
	Accroître le caractère génératif	Accroître le caractère végétatif
CE substrat et solution nutritive	Élevée	Faible
Humidité du substrat	Faible (55 – 60 %)	Élevée (80 – 85 %)
Assèchement de nuit	Fort	Faible
Volume par arrosage	Grand (250 ml et plus)	Faible (moins de 150 ml)
Nombre d'arrosages par jour	Faible	Élevé
Premier arrosage de la journée	Tard	Tôt
Dernier arrosage de la journée	Tôt	Tard

Adapter la conduite de l'irrigation en début et en fin de saison

En début et à la fin de la saison de production, on adapte la conduite de l'irrigation en fonction des objectifs de culture. Si l'enracinement des plants en début de culture n'est pas bien fait, on obtient généralement une culture qui n'est pas uniforme. Le manque d'uniformité rend la conduite climatique difficile, car on ne sait pas si on doit tenir compte des plants vigoureux ou des plants faibles. De manière générale, la conduite de l'irrigation est orientée pour obtenir des plants génératifs.



Les tomates sont normalement plantées en janvier et février. L'erreur la plus commune c'est de donner trop d'eau, surtout en après-midi. Avec des jeunes plants en train de s'enraciner, tout de suite après 12 h, il faut déjà ralentir les arrosages. Si l'intensité lumineuse justifie 1 ou 2 autres irrigations, ces derniers arrosages ne devraient pas donner de drainage ou très peu. Vers 14 h, il est temps d'arrêter

les irrigations pour laisser aux sacs de culture suffisamment de temps pour s'assécher et laisser l'oxygène pénétrer. Le besoin en oxygène des racines en développement est élevé. C'est la réserve en eau utile des sacs qui va servir à alimenter les plants pendant cette phase. Cette période est très importante pour favoriser un bon enracinement, elle vise une diminution de poids du sac de 15 à 20 % avant le premier arrosage du lendemain matin. Pour mesurer la variation de poids, une simple balance peut être utilisée. Le lendemain matin, c'est important de bien remouiller le sac de culture. C'est justement cette alternance entre le matin « mouillé » et la fin de journée au « sec » qui stimule un bon développement racinaire et une distribution uniforme dans tout le sac de culture.

En fin de saison, soit à partir du mois d'octobre, il faut bien ajuster les irrigations en fonction du climat et de la consommation. En automne, il est impératif de réduire l'arrosage pour s'ajuster aux conditions climatiques. Il faut revoir la phase de remouillage des sacs, qui se fait en début de journée et la phase de ressuyage, qui est la période qui précède la nuit. L'accent est mis sur l'oxygénation du substrat de culture, car les racines sont moins actives en fin de production. La période de ressuyage et la période de nuit visent à permettre un abaissement du contenu en eau des sacs de culture d'au moins 15 %. L'arrosage en après-midi est à faire avec parcimonie. Il faut arrêter 3 à 4 heures avant le coucher du soleil pour permettre un bon ressuyage. Pour compenser la baisse d'activité des plants, la CE de la solution nutritive doit être plus élevée au gouteur. De manière plus détaillée, la conduite de l'irrigation est basée sur les points suivants :

- Il faut augmenter la CE à l'apport pour obtenir 4,5 à 5,0 mS/cm dans la solution de drainage. Il ne faut pas trop réduire le pourcentage de lessivage, car on risque de créer beaucoup d'écart entre les sacs de culture. Ne pas descendre en bas de 15 – 20 % pendant plusieurs jours d'affilés.
- La stratégie d'irrigation devrait viser à favoriser le développement génératif. La période pour les arrosages est maintenant plus courte. Il faut commencer l'arrosage plus tard le matin et finir plus tôt l'après-midi.
- Revoir la cédule des arrosages : faire des cycles d'arrosage plus longs et moins fréquents durant la journée.
- La tomate a besoin de moins d'azote pour la dernière portion du cycle de culture (moins de lumière). Il est profitable de réduire un peu la concentration de l'azote dans la solution nutritive. Une trop grande quantité d'azote favorisera le développement végétatif.

Adapter la conduite de l'irrigation pour une reprise racinaire

C'est important de prendre le temps d'observer l'état des racines. Les photos ci-dessous montrent qu'une conduite de l'irrigation bien adaptée aux conditions climatiques extérieures permet de maintenir les racines en « santé ».



Si l'état des racines n'est pas optimal, voici comment il faut adapter la conduite :

- Commencer à arroser plus tard et terminer plus tôt. Ne pas arroser avant 9 h 30 et après 14 h 30. Pour les journées nuageuses et pluvieuses, ne pas arroser avant 10 h 30 et faire le dernier cycle d'irrigation vers 12 h 30.
- Augmenter la période de ressuyage. Normalement, en arrêtant les arrosages plus tôt le substrat de culture sera plus sec pour la nuit, ce qui est favorable pour l'oxygénation des racines. De même, en commençant plus tard, on évite de « gorger » les racines d'eau avant que les plants ne soient actifs.
- Arroser moins souvent et donner plus d'eau par cycle d'arrosage. Au lieu de donner 5 arrosages de 200 ml, il est préférable de donner 2 arrosages de 500 ml avec un intervalle de temps plus long entre les 2 cycles.
- Diminuer le taux de lessivage : 0 à 10 % par temps couvert (moins de 1 000 joules/cm²), 5 à 15 % pour les journées moyennes (de 1 000 à 1 500 joules/cm²) et 10 à 25 % pour les journées ensoleillées (1 500 joules/cm² et plus).

Adapter la conduite de l'irrigation en cas de carence minérale

CARENCE FER-MANGANÈSE

Quand tout allait bien et que soudainement les têtes des plants deviennent jaunes, c'est souvent un problème relié à une carence en fer (Fe) ou en manganèse (Mn), ou même les deux en même temps. Si le problème persiste, on pourra distinguer clairement des chloroses sur les feuilles. Ces symptômes apparaissent soudainement parce que le système de racines n'absorbe plus en quantité suffisante ces éléments. Que s'est-il passé?



- Le pH est-il trop élevé? Un pH au-dessus de 6,2 dans le substrat affecte l'absorption racinaire du Fe et du Mn. Qu'est-ce qu'on peut faire pour corriger cette situation?
 - On peut augmenter un peu le pourcentage d'apport en azote sous forme d'ammonium. Le NH_4 va aider à baisser le pH, mais c'est préférable d'y aller en douceur avec cet élément. Ce cation est antagoniste au potassium et au calcium. On devrait y aller progressivement avec seulement 1 ou 2 % de plus à la fois.
 - Le Fe chélaté EDTA pourrait être remplacé par le DTPA ou le EDDHA. Ces deux derniers sont plus stables à pH plus élevé.

- On peut augmenter la concentration du Fe et du Mn. Comme le Fe et le Mn sont aussi des antagonistes, c'est un facteur à considérer. Une surdose d'un de ses éléments peut causer une carence de l'autre.
- La croissance de nouvelles racines est réduite ou arrêtée. Le Fe et le Mn sont absorbés à l'extrémité des poils absorbants qui se forment continuellement sur les jeunes racines. Ainsi, tout ce qui affecte le renouvellement des racines peut provoquer cette carence, même si ces éléments sont en quantité suffisante dans la solution nutritive ou dans le substrat de culture. Qu'est-ce qui peut soudainement réduire la croissance des racines?
 - Une gestion climatique qui ne stimule pas assez l'évapotranspiration en début de journée ou par temps couvert.
 - Une stratégie d'arrosage qui ne tient pas compte de l'ensoleillement : 1- donner trop d'eau par journée de mauvais temps; 2- ne pas augmenter la conductivité électrique de la solution nutritive par temps sombre.
 - Commencer à arroser trop tôt ou bien terminer l'arrosage trop tard. Une mauvaise oxygénation du substrat va provoquer la dégradation des racines.
 - Une charge en fruits trop élevée par rapport à la radiation solaire.
 - Une T° 24 h trop élevée par rapport à la radiation solaire.

CARENCE EN MAGNÉSIIUM

Les chloroses provoquées par la carence en magnésium sont toujours localisées sur les feuilles situées dans le bas des plants. Ces taches jaunes tournent au brun à mesure que la carence progresse dans le temps. Sur la photo de gauche, on peut voir un début de coloration brunâtre au centre des chloroses. Ce dernier critère vous permet de ne pas confondre ce désordre avec les tâches de croissance.



Le magnésium est absorbé à l'extrémité des minuscules poils absorbants qui se forment continuellement sur les jeunes racines. Lorsque le renouvellement normal des racines est entravé, ou lorsqu'il se produit une importante perte de racines, le magnésium est le premier élément dont l'absorption sera affectée, ce qui se traduira par l'apparition de la carence, même si le substrat est riche en magnésium. Les conditions qui favorisent la carence en magnésium sont :

- Irriguer trop en période nuageuse, ce qui cause l'asphyxie et la mortalité des racines.
- Le manque d'activité des plants réduit la formation de nouvelles racines.
- Un pH supérieur à 6,0 au niveau des racines défavorise l'absorption du magnésium.
- Avoir des plants peu actifs et très chargés en période de faible luminosité. Si les plants ne peuvent pas absorber tout le magnésium requis pour la croissance des fruits, ces derniers vont alors puiser cet élément minéral dans les feuilles.

6.3 CONDUITE DU pH

Le pH optimal de la solution d'apport est idéalement entre 5,5 et 5,8. C'est une question de disponibilité des éléments nutritifs pour les racines. Dans le substrat, on vise entre 5,5 et 6,2. Le pH de l'eau de drainage peut avoir une valeur plus haute ou plus basse que celle de départ, cela dépend de ce qui se passe au niveau des racines. En fait, l'activité racinaire des plantes a une influence sur le pH. Surveiller l'évolution de ce paramètre permet aussi de suivre ce qui se passe au niveau racinaire (tableau 6.5).

Habituellement, le pH est plus élevé dans le substrat et dans la solution de lessivage qu'il l'est au gouteur. Deux phénomènes contribuent à faire augmenter le pH :

- Une forte consommation d'azote (NO_3^-) et d'autres anions par rapport aux cations comme le potassium.
- Une croissance très active des racines qui entraîne une forte respiration et le dégagement de CO_2 . La réaction du CO_2 avec d'autres éléments de la solution nutritive fait augmenter le pH.

À l'opposé, une forte absorption de cations, qui pourrait être causée par une forte charge en fruits, peut faire baisser le pH. On mesurera alors un pH plus bas à la sortie qu'à l'entrée. Cette baisse est généralement contrebalancée par l'activité racinaire, le pH demeure stable ou augmente légèrement.

Il arrive que le pH du substrat devienne trop élevé ($\text{pH} > 6,5$). Pour corriger cette situation, on peut abaisser le pH au gouteur jusqu'à 5,5 ou augmenter l'apport d'azote sur forme d'ammonium (NH_4^+). La solution nutritive contient normalement de 4 à 5 % d'ammonium. Ce taux peut être augmenté jusqu'à un maximum de 10 %. À l'inverse, si le pH est trop bas ($\text{pH} < 5,0$), il existe quelques techniques pour corriger la situation :

- Augmenter le pH de l'apport jusqu'à 6,0.
- Réduire ou couper l'apport d'ammonium.
- Favoriser le développement des racines par une meilleure stratégie d'arrosage.
- Appliquer une conduite climatique qui permettra une amélioration de la vigueur des plants.

Tableau 6.5 L'influence exercée par les plants de tomate sur le pH du substrat.

Si vous mesurez :	De la solution du substrat vers les racines	Des racines vers la solution du substrat
Un pH du drainage plus élevé qu'au gouteur	La plante absorbe beaucoup de minéraux sous forme d'anions : NO_3^- , SO_4^- , H_2PO_4^-	Les racines relâchent des anions pour maintenir l'équilibre : OH^-
Un pH du drainage plus bas qu'au gouteur	La plante absorbe beaucoup de minéraux sous forme de cations : K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^+	Les racines relâchent des cations pour maintenir l'équilibre : H^+

Influence du pH sur la pourriture des racines

L'arrosage excessif des sacs de culture, le mauvais ressuyage des sacs de culture en fin de journée et les stress hydriques sont tous des facteurs reconnus pouvant causer un dépérissement des racines suivi par une infection par un champignon pathogène. Un organisme pathogène de type « opportuniste », comme le *Pythium aphanidermatum*, profite des faiblesses des plantes pour infecter les racines. Le lien entre le *Pythium* et la pourriture des racines est bien connu, mais ce qui l'est moins, c'est l'effet que peuvent avoir le pH et la température de la solution nutritive sur l'intensité des infections. En général, le *Pythium* préfère une plage de pH qui se situe entre 6 et 7. Dans une

expérience réalisée à la station de recherche de Harrow en Ontario (Agriculture Canada)²⁰, Huang et Tu ont mesuré l'effet de différents pH (3,5 à 6,0) et de différentes températures (17 à 30 °C). Voici les points importants qui ont été mesurés dans cette expérience :

- Plus le pH se rapproche de 6,0 et plus l'incidence du *Pythium* est forte.
- Plus la température de la solution (substrat) est élevée et plus l'incidence du *Pythium* est forte.
- Les problèmes associés à *Pythium* peuvent être réduits si le pH et la température sont bien contrôlés : pH autour de 5,5 et température < 25° C.

6.4 RECYCLAGE DES SOLUTIONS NUTRITIVES

En tout premier lieu, le recyclage est une solution pour réduire le « gaspillage » des engrais et conséquemment c'est une façon de réduire la pollution causée par les effluents de serres. À ce volet environnemental s'ajoute un intérêt économique relié à la réutilisation des engrais qui autrement seraient perdus. Dans le passé, cet intérêt était peu ou pas important, mais avec la montée du coût des engrais, ce n'est plus la même chose. Le recyclage n'est pas la seule mesure possible pour contrer l'augmentation du coût associé à la fertilisation minérale. À court terme, il est possible de changer ses habitudes de conduite de l'irrigation. Dans plusieurs cas, il serait faisable d'utiliser une CE plus basse au gouteur et de réduire la proportion de drainage, sans affecter l'équilibre minéral dans le substrat de culture. Chaque producteur doit faire l'analyse de ses pratiques et les remettre en question s'il y a lieu. On peut aussi penser à une conversion vers la culture biologique, ce qui rejoint à la fois les aspects environnemental et économique.

Il existe encore quelques serres qui utilisent la technique du film nutritif NFT « Nutrient Film Technique » pour la culture maraîchère. Ce concept des années 80 était tout de même un système quasi « idéal » pour le recyclage des solutions nutritives. Aujourd'hui, on parle d'un NFT amélioré qui tient compte des erreurs du passé. Un regard nouveau a été apporté sur l'oxygénation de la solution circulante et sur l'utilisation d'organismes antagonistes aux pathogènes.

²⁰ Cette information provient d'un article de Gillian Ferguson paru dans le Ontario Greenhouse Vegetable Newsletter (Avril 2008) : *pH and Temperature can Affect Pythium Root Rot*.

Avec un système de culture hydroponique si l'on pense recycler les solutions nutritives qui drainent des sacs de culture, ça commence par la collecte du drainage (figure 6.3). Le réseau de collecte comprend :

- Les gouttières qui récupèrent directement la solution drainage.
- Les collecteurs qui dirigent la solution collectée vers des bacs de stockage.
- Un système de filtration.

Il y a 3 types de gouttières de collecte :

- Canal de collecte formé par un profilage du sol et recouvert d'un film plastique blanc-noir.
- Gouttière semi-rigide ou rigide de plastique préformé qui est déposée sur le sol.
- Gouttière en acier suspendue ou surélevée.

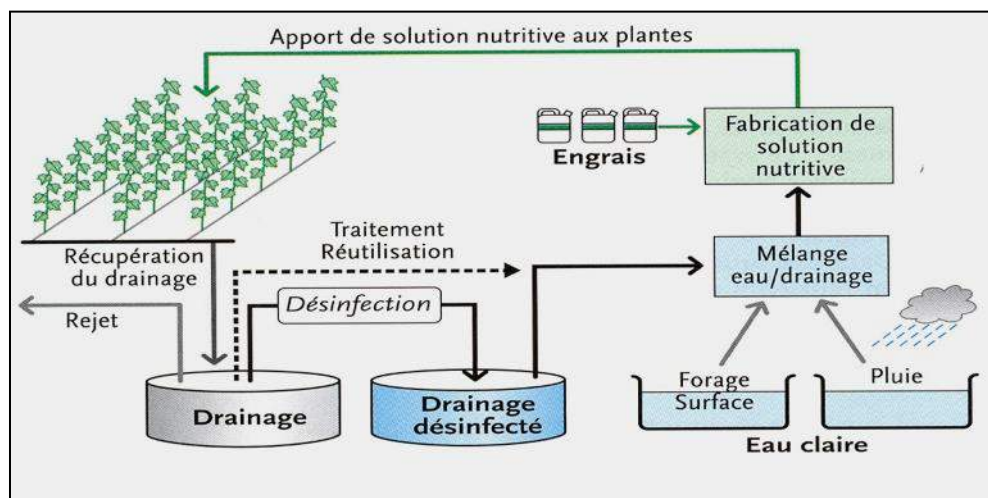


Figure 6.3 Représentation schématique²¹ d'un système de recyclage des solutions nutritives.

Une fois que la solution est stockée, on peut la réutiliser après qu'elle a été traitée. La réutilisation sans traitement est possible, mais à cause des risques de transmission des maladies ce n'est pas recommandé. La deuxième étape consiste à traiter la solution et à la stocker pour un usage ultérieur. La solution utilisée est ensuite mélangée avec une nouvelle solution dans un ratio autour de 1:3 et le tout est envoyé de nouveau vers les plantes. Il y a 3 grandes catégories de traitement de la solution avant sa réutilisation :

²¹ Source : Le Quillec, S. 2002. Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat, CTIFL, France.

1. Les traitements physiques : thermodésinfection et irradiation aux rayons ultraviolets.
2. Les traitements chimiques d'oxydation : ozonisation, chloration et utilisation du peroxyde d'hydrogène.
3. Les traitements biologiques : biofiltration statique et dynamique.

Évaluer le volume des effluents

Une culture de tomate consomme autour de 2 litres/m² par 1 000 joules/cm² ou par 10 MJ/m² (MJ = méga joules). En tenant compte des conditions d'ensoleillement du Québec (figure 6.6), les apports pour satisfaire le besoin d'une culture hydroponique de tomates se situent autour de 12 000 m³/m²/an en eau. Ce chiffre inclut un pourcentage de drainage plutôt raisonnable de l'ordre de 25 %. Les rejets de solutions fertilisantes sont approximativement de 3 000 m³/m²/an. En engrais, la perte dans les effluents de serre est entre 3 et 5 tonnes/ha/an.

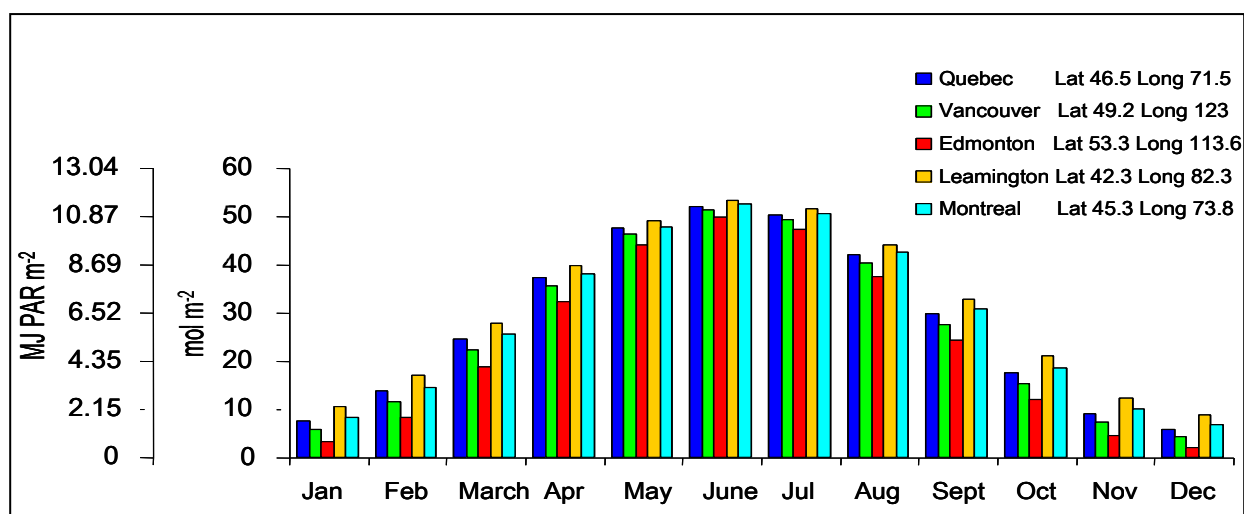


Figure 6.4 Distribution de la radiation solaire utile pour la plante (PAR) au cours de l'année pour différentes régions au Canada. La SRG a été obtenue en considérant que le PAR représente 45 % de la radiation globale. Source : Martine Dorais, PhD, Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Méthodes de désinfection

Les lignes qui suivent donnent les principales caractéristiques techniques, les avantages et les points faibles des principales méthodes de désinfection.

THERMODÉSINFECTION

- Pour être efficace, le traitement de la solution être fait à 95 °C pendant 30 secondes, ou à 85°C pendant 3 minutes.
- Procédé technique reconnu, sans risque de phytotoxicité et très efficace.
- Demande une gestion complexe de la température de la solution et du pH.
- Consomme 1 m³ de gaz naturel pour traiter 1 m³.
- Coûts de fonctionnement et d'entretien élevés.

IRRADIATION AUX RAYONS ULTRAVIOLETS

- Irradiation de la solution avec une longueur d'onde comprise entre 200 et 280 nm (UV-C). L'efficacité maximale se situe à 254 nm.
- Les UV sont produits par une lampe de quartz contenant des vapeurs de mercure.
- Système peu encombrant ayant une très grande capacité de traitement à l'heure, de 3 à 10 m³.
- Demande beaucoup d'entretien du système de filtration et des tubes de quartz.
- Procédé déconseillé pour le traitement de la solution de drainage issue de substrats organiques qui est colorée par les matières organiques.
- Le fer chélaté de la solution est détruit par les UV, c'est nécessaire de le remplacer après la désinfection.
- Le coût de fonctionnement est moins important que pour la thermodésinfection.

OZONISATION

- Oxydation des matières organiques et des microorganismes par l'ozone (O₃).

- Pour un traitement d'ozone en action directe, la dose est de 15 à 20 g/m³ de solution durant 4 secondes.
- Peut-être utilisé à 10 g/m³ si complémenté avec 0,15 g de peroxyde d'hydrogène.
- Système peu encombrant et adapté à tous les types de substrat.
- Affecte le fer et le manganèse de la solution.
- Efficacité moyenne contre les virus.
- Détecteur d'O₃ obligatoire; l'appareil doit être équipé d'un système de sécurité très efficace et fiable.
- Consomme de 8 à 17 kWh/kg d'O₃ produit.
- Coût de fonctionnement très faible.

CHLORATION

- Oxydation des matières organiques et des microorganismes par le chlore.
- Traitement de la solution avec 8 à 10 mg/l de chlore libre.
- Besoin d'un temps de contact qui est long, de l'ordre de 16 heures, donc nécessité d'avoir une bonne réserve de stockage avant et après la désinfection.
- Si le procédé est mal contrôlé, il y a des risques de toxicité pour les plantes.
- Libération de sodium dans la solution nutritive si on utilise de l'eau de Javel.
- Coûts d'investissement et de fonctionnement peu élevés.

BIOFILTRATION

- Procédé mécanique (filtration, sédimentation et adsorption) et biologique (prédation et antagonisme bactérien) de piégeage et de destruction de la matière organique par les microorganismes.
- Seule technique biologique et sélective de traitement des effluents de serre.
- Matériaux filtrants : sable, flocons de laine de roche et granulats de roche volcanique.
- Biofiltration statique dans un biofiltre : filtration sur une colonne réalisée de haut en bas; le débit à respecter est de 100 à 130 l/heure/m² de surface filtrante.
- Biofiltration par un marais filtrant : le marais doit avoir une capacité de rétention d'au moins 2 jours.

- Biofiltration dynamique : le matériau de filtration est brassé à l'aide d'une pompe à air, ce qui augmente le temps de contact et donc l'efficacité du biofiltre; le débit de filtration est augmenté à 400 l/heure/m².
- Ce procédé n'élimine pas la microflore bénéfique, mais n'est pas efficace à 100 % pour éliminer les agents pathogènes.
- Pour la biofiltration dynamique, le biofiltre est installé à l'intérieur, car la température optimale de l'activité biologique est entre 15 et 25 °C.
- Procédé de petite capacité qui demande un volume de stockage élevé.
- Adapté à tous les types de substrat.
- Très peu d'influence sur la solution traitée.
- Faible coût de fonctionnement.

Influence sur la nutrition minérale

Le recyclage des effluents de serre commence à se répandre au Québec. Le recyclage peut être fait autant en culture conventionnelle qu'en biologique. Cependant, les principes d'utilisation sont distincts. Pour la culture biologique hors sol, le recyclage des effluents peut se faire par biofiltration avec un marais artificiel. Dans ce qui suit, il sera question seulement de la culture conventionnelle.

La mise en œuvre du recyclage requiert des adaptations dans la conduite de l'irrigation. Avec cette technique la composition de l'eau apportée aux plantes est constituée d'eau fertilisante non utilisée par les plantes (lessivage) et d'eau fertilisante préparée à partir de solutions nutritives concentrées de types A, B, C et d'acide nitrique. Comme dans la pratique standard d'irrigation, les producteurs apportent l'engrais aux plantes par le biais de la mesure de la conductivité électrique (CE). Les producteurs ajustent les valeurs de la CE à la hausse en période nuageuse ou à la baisse durant les périodes ensoleillées. La valeur de la CE moyenne des eaux de lessivage se situe généralement entre 4,5 et 5,5 mS/cm². Les producteurs arrosent les plantes avec des CE qui se situent entre 2,5 et 3,5 mS/cm². On peut donc utiliser qu'une fraction de la CE qui provient des eaux de lessivage. Les systèmes de récupération de l'eau de lessivage peuvent contenir le volume équivalent de trois jours d'arrosage. Lorsqu'un producteur utilise le tiers de la CE ($4,5 / 3 = 1,5$) provenant de l'eau de lessivage, il peut donc recycler tout le volume d'un silo d'eau de lessivage en 3 jours.

Dans les systèmes à drainage recyclé, l'accumulation de certains éléments minéraux est inévitable. Pour éviter qu'ils ne s'accumulent de façon indésirable dans les substrats de culture, il est nécessaire de maintenir un pourcentage de lessivage quotidien qui se situe entre 25 et 35 %. La récupération du

drainage à 100 % est possible tant que les limites maximales pour un ou plusieurs éléments minéraux ne sont pas atteintes ou dépassées. La conduite de la nutrition consiste à ajuster l'équilibre de l'eau fertilisante pour permettre une croissance optimale de la culture. Tous les éléments minéraux ne sont pas absorbés de la même façon, certains s'accumulent et d'autres sont consommés presque en totalité. La gestion de la nutrition en mode recyclage est simplifiée si le pourcentage de lessivage quotidien est stable. Les cultures qui sont en bonne santé absorbent les éléments minéraux sensiblement de la même façon lorsque l'on arrose de manière constante. Les éléments minéraux lessivés, même s'ils sont déséquilibrés, sont rejetés de la même façon tous les jours. Avec une solution fertilisante rejetée connue, le producteur peut ajuster la recette de base sans problème. Les standards de référence pour l'analyse des eaux de lessivage demeurent les mêmes en recyclage. La solution de base est modifiée en fonction des analyses d'échantillon d'eau de lessivage. Lorsque le déséquilibre est trop important, les serristes sont amenés à vidanger partiellement l'eau de lessivage durant le cours d'une saison de production. Les éléments minéraux qui atteignent fréquemment des niveaux indésirables sont le chlorure et le sodium. La conduite de la nutrition lorsqu'on recycle l'eau est plus délicate que celle pratiquée en drainage perdu. Le producteur doit faire des analyses fréquentes et faire les ajustements appropriés. L'aspect nutrition lors du recyclage de la solution fertilisante nécessite des ajustements appropriés particulièrement lors du démarrage. Les producteurs qui commencent à recycler arrivent à maîtriser la gestion de cet aspect très rapidement, à l'intérieur même du premier mois suite à l'installation de leur système.

Biofiltration avec un marais artificiel

La biofiltration avec un marais artificiel est une solution pour traiter les effluents de serres qui peut s'appliquer autant à la culture hydroponique que biologique en système hors-sol. Cette technique est encore peu utilisée au Québec, mais elle n'en demeure pas moins performante. Plusieurs travaux de recherche ont démontré son efficacité à éliminer les microorganismes pathogènes et à réduire la concentration de certains éléments minéraux « nuisibles », par exemple le sulfate, avant la réutilisation de la solution nutritive²². Le traitement des effluents est fait dans un bassin filtrant végétalisé (marais) qui peut avoir un écoulement vertical avec plusieurs cellules (figure 6.7) ou un écoulement horizontal sous la surface (figure 6.8). Le principe d'un marais filtrant consiste à créer un filtre biologique au travers duquel les effluents à épurer vont circuler par translation. L'eau circule dans le marais par gravité. Pour le marais vertical, l'eau est pompée sur le dessus de la couche filtrante. Elle est recueillie au fond et repompée dans la cellule suivante. Ce type de marais est conçu normalement avec 3 ou 4

²² Lévesque, V. 2011. Potentiel des marais filtrants à traiter les effluents de serre issus d'une culture de tomates. Mémoire de maîtrise présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval.

cellules. Le bassin de filtration est de faible profondeur, soit autour de 1,2 m. Il est rempli de sable et de gravier dans lequel sont plantées des espèces végétales adaptées aux zones humides, comme la quenouille.

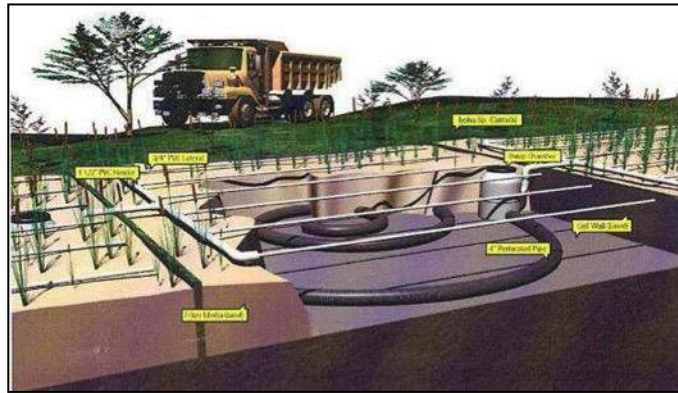


Figure 6.5 Schéma d'un marais artificiel à écoulement vertical avec trois cellules²³.

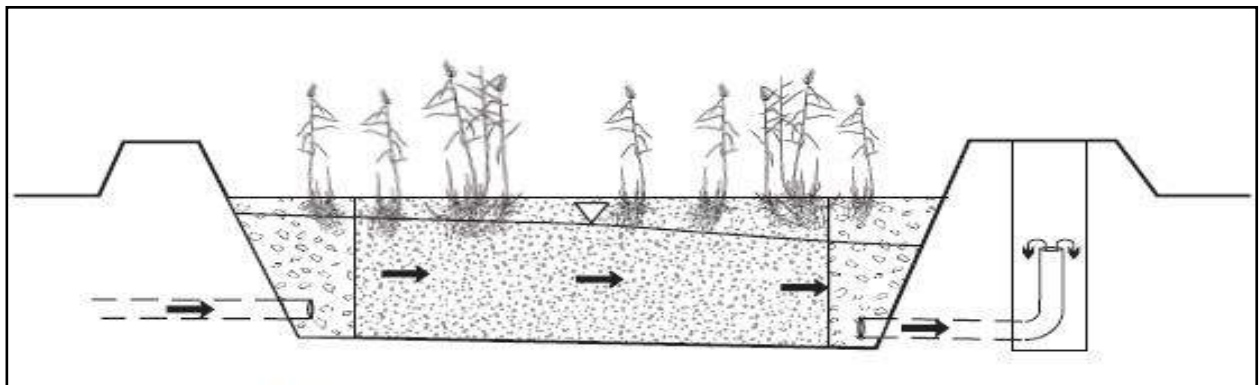


Figure 6.6 Schéma d'un marais artificiel à écoulement horizontal sous la surface²⁴.

²³ http://en.wikipedia.org/wiki/Constructed_wetland

²⁴ MDDEP. Janvier 2010. Marais artificiels. Page 5.7. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domestique/Chap5.pdf>

DIMENSION D'UN MARAIS FILTRANT

Pour dimensionner la surface d'un marais, la formule²⁵ suivante peut être utilisée :

$$S = Vt / hp + ct$$

S = surface du bassin (m²)

V = volume à traiter par jour (m³/jour)

t = temps de séjour du liquide (jour)

h = hauteur de filtration (m)

p = porosité du substrat (%)

c = consommation de liquide par les plantes (m³/m²)

Pour le marais filtrant ayant la capacité de traiter 1 ha, les paramètres sont :

V = 20 m³/jour (V est évalué pour la période de pointe)

t = 7 jours (donnent de bons résultats en été)

h = 1,2 m (suffisant pour le fonctionnement en hiver)

p = 25 % (sable fin)

c = 0,01 m³/m²

Avec ces paramètres, la surface totale du marais doit être de 378,4 m² (arrondi à 380 m²). Un marais à filtration verticale pourrait être constitué de 3 cellules de 130 m² de surface. Un marais à filtration horizontale est habituellement construit de manière à ce qu'il soit 3 à 4 fois plus long que large. Le marais pourrait être de 10 m x 38 m.

ÉLÉMENTS CONSTITUANTS D'UN MARAIS FILTRANT

Détails techniques :

- Le fond du bassin est recouvert d'une membrane étanche et durable de 8-10 mil d'épaisseur.
- Il est nécessaire d'avoir 2 réseaux d'alimentation, un de surface pour l'été et l'un sous terrain pour l'hiver.
- Pour un marais horizontal, les zones d'entrée et de sortie du marais sont en gravier grossier (± ¾ po). Le reste du marais est rempli de sable fin.

²⁵ Infos-Ctifl No 216. Novembre 2005, p. 33-37.

- Réservoir de l'eau traitée d'au moins 30 m³. Un traitement avec du chlore à un dosage de 2 ppm est recommandé pour éviter toute contamination de l'eau traitée.
- Besoin d'un système de contrôle informatique pour doser le mélange de l'eau brute provenant d'un puits ou de l'aqueduc municipal avec l'eau traitée. La proportion d'eau traitée devrait normalement être égale ou inférieure à 30 %.
- La proportion entre les 2 sources d'eau est faite avec une valve modulante et un contrôle basé sur la conductivité électrique.
- Le mélange est ensuite complété par des engrais et de l'acide pour faire l'ajustement final du contenu en engrais et pH de la solution nutritive.
- Les cultures doivent être faites sur des gouttières de culture pour que le lessivage puisse être collecté et transféré vers le marais.
- Pendant la pointe d'arrosage en été, autour de midi, le système de pompage devra avoir une capacité minimale de 3,0 m³/h.
- Avant le passage dans le marais, on installe un réservoir de stockage de l'eau usée d'au moins 30 m³. Les pompes de transfert devraient avoir des capacités minimales de 16 m³/jour.

CHAPITRE 7

CULTURE AVEC ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Au Québec, la tomate est aussi produite en hiver avec de l'éclairage artificiel. Si l'on ne considère que le nombre d'exploitations, la majorité des serristes cultivent selon un calendrier conventionnel. Les exploitations qui produisent de la tomate sous éclairage artificiel sont moins nombreuses, mais chacune de ces exploitations a une superficie importante. Le but premier d'utiliser de l'éclairage d'appoint est d'avoir des tomates pendant tout l'hiver, alors qu'avec un calendrier de production conventionnel, il n'y a plus de récolte de la mi-décembre jusqu'au mois de mars. Le faible niveau d'ensoleillement sous nos conditions hivernales est le plus important facteur limitant de la croissance et de la productivité des cultures de tomates en serre. L'utilisation d'un éclairage d'appoint permet de maintenir un bon taux de croissance et de développement des plantes. L'énergie lumineuse supplémentaire produite par un système d'éclairage avec des lampes à haute pression de vapeur de sodium permet de maintenir tous les indicateurs de performance agronomique à des niveaux permettant une bonne productivité : diamètre de tige, nombre de feuilles, calibre des fruits, etc.

7.1 ASPECTS ÉCONOMIQUES ET AGRONOMIQUES

Facteurs économiques

En Europe, au début des années 1980, l'ajout d'éclairage artificiel dans les serres n'était pas économiquement possible. Cependant, elle était utilisée pour la production de transplants de légumes. Au Québec, l'éclairage artificiel fourni comme énergie lumineuse supplémentaire est devenu une pratique courante depuis la fin des années 1980. Depuis, entre autres grâce aux tarifs d'électricité favorables, plusieurs producteurs peuvent produire des tomates en serre toute l'année. En 2015, il y a environ 23 ha de superficie de serres qui utilisent de l'éclairage photosynthétique pour la culture de la tomate.

Avant octobre 2013, dans le meilleur des cas, un producteur en serre du Québec pouvait obtenir un tarif d'électricité de l'ordre de 0,08 \$/kWh (avant les taxes). En octobre 2013, la Régie de l'énergie a rendu publique une nouvelle tarification électrique s'appliquant aux producteurs en serres. Depuis le 1^{er} janvier 2014, les producteurs en serre peuvent bénéficier de deux nouvelles mesures concernant les tarifs d'électricité, une concernant le chauffage biénergie, l'autre concernant l'éclairage artificiel.

En ce qui concerne le chauffage biénergie, le nouveau tarif DT sera de 4,4 ¢/kWh contrairement à 7,78 ¢ pour le tarif D (domestique et agricole). En incluant tous les autres frais d'électricité (redevances journalières, appel de puissance, etc.), le tarif DT reviendra entre 5,5 et 5,7 ¢/kWh comparativement à environ 8 ¢/kWh pour le tarif D. Le tarif DT augmentera d'environ 0,15 ¢/kWh par année, pour les 6 prochaines années.

Le tarif DT aura aussi pour le secteur serricole une option « énergie additionnelle » pour l'usage exclusif de l'éclairage de photosynthèse. Ce tarif est obtenu par un calcul basé sur le prix marginal du tarif M (moyenne puissance), le prix de l'électricité pouvant être obtenu sur le marché de l'exportation vers les É.-U. et le prix du gaz naturel. Depuis quelques années, il s'établit à 5,28 ¢/kWh, incluant tous les autres frais (redevances, appel de puissance, etc.). Cependant, ce tarif est interruptible comme le tarif biénergie. Le principal critère d'admission est l'appel de puissance total de l'entreprise qui devra être au minimum de 400 kW pour au moins une période de facturation.

Selon une étude du groupe AGEKO menée en 2011²⁶, au Québec, trop peu d'entreprises sont présentes sur une base annuelle. Un peu moins de 10 % des entreprises répartissent leurs ventes sur 12 mois. L'utilisation de l'éclairage artificiel serait une alternative intéressante pour que les producteurs puissent produire sur une plus longue période (12 mois) et occuper l'espace tablette plus longtemps à l'année.

Il est évident que l'éclairage artificiel fait grimper la facture énergétique. De plus, l'allongement de la période de production avec de la lumière artificielle affecte aussi le coût de la main-d'œuvre. Les entreprises qui produisent avec lampes ont à déboursier de 25 à 35 % de plus pour la main-d'œuvre.

²⁶ AGÉCO. 2011. Portrait québécois et diagnostic de la production de légumes de serre et opportunités de développement. Rapport préparé pour le SPSQ. 105 p.

Facteurs agronomiques

La croissance, le développement, la productivité ainsi que la qualité de la tomate dépendent largement du rayonnement reçu par la plante. Elle a besoin d'un rayonnement énergétique d'au moins 250 MJ/m^2 par mois (mesuré à l'extérieur de la serre), ce qui correspond à 833 J/cm^2 par jour, pour assurer un minimum de croissance et de développement à un plant mature. Or le Québec (région de Montréal) reçoit un rayonnement énergétique inférieur à $200 \text{ MJ/m}^2/\text{mois}$ ($666 \text{ J/cm}^2/\text{jour}$) en novembre, décembre et janvier (figure 7.1). L'apport d'éclairage artificiel supplémentaire permet donc de combler la différence entre les besoins de la plante et la quantité de lumière naturelle.

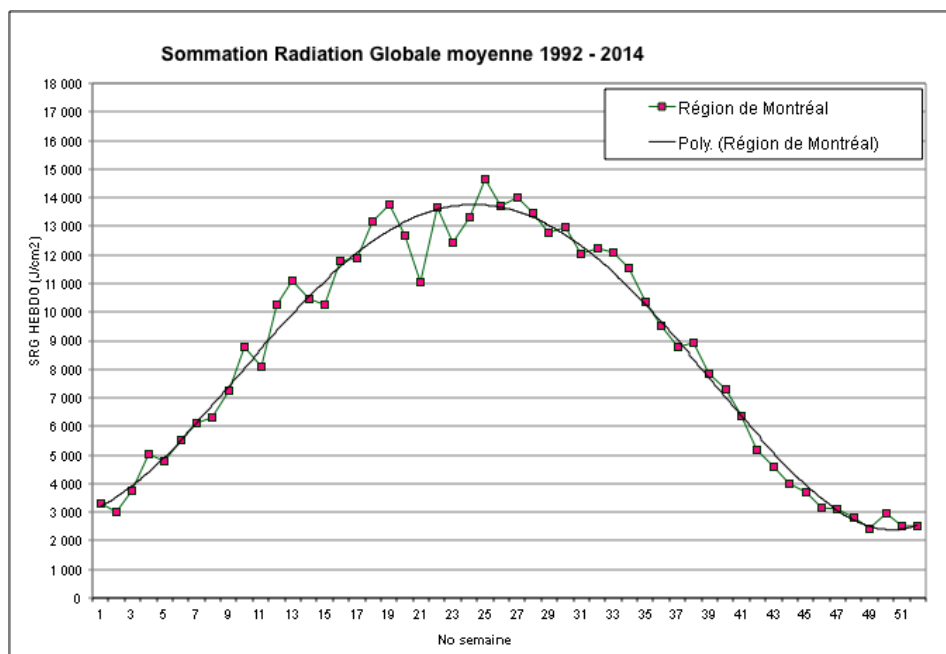


Figure 7.1 La somme de radiation globale reçue à Mirabel, moyenne de 1992 à 2014.

Pour des plants matures, sans apport d'éclairage artificiel durant les mois de novembre à février, il est pratiquement impossible d'obtenir une formation de fruits de qualité et la nouaison des fleurs est très difficile. Avec un calendrier de production standard, il est possible de récolter des tomates durant les mois de novembre, décembre et un peu en janvier, à condition que les plants aient été étêtés en octobre. La productivité est limitée entre 1 à $2,0 \text{ kg/m}^2$ par mois. Donc, il n'est pas possible de produire des plants matures sans éclairage artificiel durant cette période. Durant l'hiver, avec éclairage artificiel, la productivité est haussée considérablement. Le rendement mensuel peut atteindre $6,0 \text{ kg/m}^2$ (tomate charnue) avec un éclairement de l'ordre de $150 \mu\text{mol/m}^2\text{-s}$ avec une photopériode de 16 heures.

Avec l'éclairage artificiel, le calendrier de production est à modifier. Généralement, la plantation se fait entre la fin-juin et le début du mois d'août. La récolte débute en septembre ou octobre et elle se termine l'année suivante au mois de juin. Ce type de calendrier de production maximise la productivité durant les mois de l'hiver où les prix sont les meilleurs.

7.2 FACTEURS DE RÉUSSITE

Type d'éclairage

Jusqu'à maintenant, ce sont toujours les lampes au sodium (HPS) qui sont la référence pour l'éclairage d'appoint des cultures maraîchères en serre. Plusieurs modèles de lampes existent sur le marché, mais c'est la lampe de 1 000 watts qui est la plus avantageuse dans les serres. Ces dernières années, l'éclairage artificiel avec des diodes électroluminescentes (DEL) devient de plus en plus intéressant. Une lampe DEL est souvent un mélange de diodes de couleur rouge (longueurs d'onde entre 600 et 700 nm) et de couleur bleue (longueurs d'onde entre 400 et 500 nm). Avec les DEL, le côté qualitatif est supérieur à l'éclairage au sodium et la recherche progresse toujours afin de trouver les meilleures longueurs d'onde qui permettraient de favoriser la photosynthèse et la productivité des légumes de serre. Cependant, l'apport quantitatif de lumière est encore faible par rapport au coût d'investissement pour ce type d'éclairage. Donc, la rentabilité de l'éclairage DEL pour la production de tomates en serre n'est pas encore démontrée.

Dans les dernières années, plusieurs travaux ont été menés afin de combiner l'installation de lampes HPS et DEL. Afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de la lumière, les producteurs accrochent les barres DEL à mi-hauteur dans la culture (figure 7.2). Ce concept améliore la quantité de lumière dans le bas de la culture. La combinaison de ces technologies est prometteuse. En Hollande, l'application des deux technologies se fait déjà chez plusieurs producteurs de tomates.



Figure 7.2 Lampes HPS jumelées avec des lampes DEL placées à mi-hauteur des rangs de tomates en serre²⁷.

Combien de lampes doit-on installer?

Lors de la planification de la construction d'une serre, les producteurs doivent évaluer les équipements nécessaires qui permettront de maximiser leur investissement. L'ajout d'éclairage artificiel est une décision importante. La quantité de lampes installées va influencer fortement les coûts de l'installation. La hausse de la quantité de lampes installées signifie également que les plantes recevront plus de lumière. En considérant à la fois les aspects agronomique et économique, les meilleurs rendements sont obtenus avec un éclairage photosynthétique qui se situe entre 140 et 165 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. Comme ordre de grandeur, pour obtenir 140 μmol on a besoin de 1 lampe de 1 000 watts par 11 min 2 s de surface de serre. Pour 165 μmol , c'est 1 lampe 1 000 Watts/9,5 m^2 . Ces chiffres ne sont présentés qu'à titre indicatif, car pour avoir une idée précise du nombre de lampes à installer pour obtenir une intensité donnée, il est essentiel de faire une étude de cas plus complexe qui tient compte du type de serre : largeur, longueur, hauteur libre sous les poutrelles, distance entre les poutrelles, hauteur de la culture, etc. Dans tous les cas, quand vient le temps d'ajouter de l'éclairage artificiel, c'est indispensable de consulter des experts. Plusieurs entreprises spécialisées dans l'installation d'éclairage artificiel peuvent fournir un plan d'installation adapté à vos serres. L'uniformité de l'éclairage doit être optimale pour obtenir une croissance égale des plants.

²⁷ Tom Dueck, Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Wageningen University UR, 2005. *Assimilation lighting and tomato (Optimal use of each (sun) light hour)* 38 p.

Nombre d'heures d'éclairage

L'éclairage artificiel sert principalement à améliorer la productivité des cultures de tomates durant les périodes automnales et hivernales. Au Québec, les producteurs utilisent normalement les lampes à partir du mois d'octobre, et ce jusqu'à la fin du mois de mars.

Un critère qui permet de gérer le nombre d'heures à utiliser est la radiation globale, le nombre de J/cm^2 apporté par chaque heure d'éclairage avec les lampes. Par exemple, un éclairage de $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pendant une heure donne à la tomate un équivalent en radiation solaire d'environ $39 \text{ J}/\text{cm}^2$ par heure d'utilisation, en termes de radiation globale mesurée à l'extérieur. Ce qui signifie que lors d'une journée où les lampes sont allumées pendant 16 heures, les lampes donnent l'équivalent d'une journée où on a reçu $624 \text{ J}/\text{cm}^2$ à l'extérieur. Chaque jour, avec cette stratégie on fournit donc aux plantes un surplus de $624 \text{ J}/\text{cm}^2$.

Voici un exemple pour une serre qui aurait un système d'éclairage de $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2 - \text{s}$ (tableau 7.1). En janvier (semaines No 1 à 4), on constate que l'éclairage artificiel permet de pratiquement doubler la SRG naturelle. À mesure que l'on progresse vers le printemps, on note une adaptation de la durée d'allumage des lampes en fonction de l'augmentation de la SRG naturelle. Le pourcentage d'apport de l'éclairage artificiel sur la SRG totale passe de 57 à 7 %, de la semaine 1 à la semaine 15. En général, les producteurs vont utiliser entre 2 000 et 2 500 heures de lampes HPS par année de production.

Tableau 7.1 Pourcentage d'apport de la SRG fourni par les lampes HPS durant les 15 premières semaines de l'année à Mirabel (installation de 150 $\mu\text{mol/m}^2\text{-s}$).

Semaine	SRG naturelle (extérieure)	SRG provenant des lampes	Nombres d'heures d'utilisation des lampes HPS	SRG totale	% d'apport de la lumière fournie par les lampes dans la SRG totale	Accroissement de la SRG (totale vs lumière naturelle)
No	(J/cm ²)	(39 J/cm ² /h)	(h/sem)	(J/cm ²)		
1	3 312	4 368	112	7 680	57%	2,3
2	3 020	4 368	112	7 388	59%	2,4
3	3 741	4 368	112	8 109	54%	2,2
4	5 053	4 368	112	9 421	46%	1,9
5	4 786	4 368	112	9 154	48%	1,9
6	5 541	3 678	94	9 219	40%	1,7
7	6 108	2 324	60	8 432	28%	1,4
8	6 308	2 180	56	8 488	26%	1,3
9	7 232	1 755	45	8 987	20%	1,2
10	8 759	1 365	35	10 124	13%	1,2
11	8 080	1 248	32	9 328	13%	1,2
12	10 248	1 092	28	11 340	10%	1,1
13	11 079	1 014	26	12 093	8%	1,1
14	10 477	936	24	11 413	8%	1,1
15	10 234	780	20	11 014	7%	1,1

Gestion de la photopériode

La photopériode inclut la période normale de la journée avec l'ensoleillement naturel et la période de la nuit où on utilise les lampes. La durée de la photopériode avec éclairage artificiel pour la production de tomate de serre fluctue en fonction de la période de l'année, donc de la SRG reçue. Au moment de l'année où la SRG est à son minimum, la durée d'éclairement est de 16-17 heures. Plus la photopériode est longue, plus la consommation en électricité est grande. En hiver, les meilleurs rendements sont obtenus avec des photopériodes de 16-17 heures avec des intensités lumineuses élevées. La longueur de la photopériode diminue avec l'augmentation de la SRG. Comme la SRG augmente avec la photopériode naturelle, le nombre d'heures de fonctionnement des lampes nécessaires pour maintenir la productivité maximale est plus petit (tableau 7.1). Selon l'exemple du tableau 7.1, de la semaine No 1 à la semaine No 15, les heures de fonctionnement des lampes passent graduellement de 16 heures à 3 heures.

La gestion de l'éclairage artificiel au quotidien doit être régulière. C'est important de ne pas utiliser des photopériodes différentes chaque jour. Les changements devraient se faire progressivement à raison de 30 minutes à la fois. C'est recommandé de conserver la même photopériode pendant au moins une semaine avant la modification suivante.

Les lampes allument durant la nuit vers minuit, et se ferment par la suite vers 16 heures pour une photopériode totale de 16-17 heures. Afin d'aider les bourdons à retourner naturellement à leur ruche, l'arrêt des lampes un peu avant le coucher naturel du soleil est recommandé. Si la photopériode dépasse l'heure de coucher du soleil, il est nécessaire d'utiliser des ruches avec 2 ouvertures (portes). La porte qui permet la sortie des bourdons doit être fermée vers 14 h. On ne laisse ouverte que la porte qui permet d'entrer.

Une fois que les lampes sont allumées, elles ne fermeront que si l'intensité lumineuse instantanée mesurée à l'extérieur est assez élevée. Les ordinateurs de contrôle du climat renferment plusieurs programmes qui permettent la gestion d'ouverture et de fermeture des lampes. À cause de la façon dont les lampes sont construites, il est recommandé d'éviter de faire fonctionner les lampes pour une courte durée. Avec les différents programmes, on fait les réglages afin de permettre une durée de fonctionnement minimale. On devrait également faire des réglages sur les seuils d'ouverture et de fermeture des lampes. Lorsque le seuil d'intensité lumineuse extérieur est suffisant pour éteindre les lampes, afin d'éviter une remise en marche soudaine, un minimum de temps d'utilisation peut être programmé. Le seuil d'intensité lumineuse qui permet la fermeture des lampes varie de 200 W/m^2 à 350 W/m^2 . Également, il est possible de gérer le système d'éclairage avec la SRG. Durant le jour, on peut programmer un seuil de 900 J/cm^2 . Avec ce réglage, dès que la SRG est atteinte durant la journée, les lampes ne peuvent plus s'allumer.

Les travaux effectués à l'Université Wageningen en 2005²⁸ ont conclu qu'en production hivernale, les meilleurs rendements de tomate de serre sont obtenus avec les hautes intensités lumineuses ($162 \mu \text{ mol/m}^2\text{-s}$) et les longues photopériodes (18 heures). Les travaux ont montré qu'en passant de $135 \mu \text{ mol/m}^2\text{-s}$ à $162 \mu \text{ mol/m}^2\text{-s}$, on mesure 8,4 % plus de lumière, mais on obtenait 14,0 % plus de production.

²⁸ Tom Dueck, Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Wageningen University UR, 2005. *Assimilation lighting and tomato (Optimal use of each (sun) light hour)* 38 p.

7.3 CONDUITE DE CULTURE AVEC L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Charge en fruits et équilibre

Étant donné que le calendrier de production est différent, certaines précautions sont à considérer. Les plants de tomate sont habituellement mis en place dans les serres en juin lors d'une plantation en été. Durant cette période, la SRG est à son maximum. Les jeunes plants reçoivent beaucoup trop de lumière, leur croissance devient excessive. La vigueur est trop grande. On peut voir facilement des tiges avec un diamètre plus grand que 14 mm si aucune précaution n'est prise. Afin de limiter l'excès de lumière, on peut soit blanchir le toit des serres, soit utiliser les écrans ombrageant ou placer des réglages avec des températures élevées dans l'ordinateur pour éviter l'accumulation de sucres dans la tête, la tige et les feuilles des jeunes plants. Certains iront jusqu'à hausser la densité de plantation initiale dès la mise en place et, par la suite, ils réduiront la densité quand la SRG diminuera.

Les producteurs conventionnels savent que la charge en fruits augmente avec la SRG (tableau 7.2). Le pic de la charge en fruits est obtenu au mois de juillet et descend graduellement par la suite. La conduite de la charge en fruit avec HPS commence en été où la charge en fruits devrait être au maximum. Avec une mise en place en juin, le producteur portera une attention particulière sur la formation des fruits (tableau 7.2). C'est l'augmentation graduelle de la charge en fruit qui contrebalance l'excès de vigueur telle que mesurée par le diamètre élevé des tiges. À ce stade de culture, la charge en fruits aide largement à contrebalancer la croissance végétative. La charge en fruits doit augmenter rapidement. Dès que la fin du mois d'août arrive et que le mois de septembre se pointe, la SRG totale diminue. En même temps, la charge en fruits a augmenté progressivement. Le producteur peut commencer à diriger la culture à sa guise selon les réglages de climat et d'irrigation qui lui semblent propices. Il est à noter que la charge en fruits de décembre à avril est stable.

Tableau 7.2 Évolution de la charge en fruits en fonction de la SRG (J/cm²) pour des productions de tomates charnues avec et sans lampes HPS.

Mois	(J/cm ²)	(J/cm ²)	(nombre de fruits/m ²)	
	sans HPS	avec HPS	sans HPS	avec HPS
Janvier	16 790	36 100	16	46
Février	22 750	35 300	33	50
Mars	38 000	44 000	61	50
Avril	47 300	50 000	62	50
Mai	55 500	55 500	66	52
Juin	59 600	59 600	65	50*
Juillet	61 400	61 400	68	6**
Août	51 700	51 700	61	14
Septembre	35 900	35 900	60	18
Octobre	25 000	32 900	37	36
Novembre	13 600	27 500	15	41
Décembre	13 000	30 000	0	45

Note importante : Avec l'éclairage HPS, la 2^e culture est contre plantée sur la 1^{re} culture. Il y a donc cohabitation en même temps dans la serre de jeunes plants et de vieux plants en fin de récolte.

* : vieux plants.

** : jeunes plants.

Température extérieure et ouverture des lampes

En septembre, le producteur ajuste la photopériode. L'ajout de lumière commence en octobre afin d'augmenter la longueur du jour et la SRG. Au départ, on additionne 3 ou 4 heures dans la nuit pour obtenir 16 heures par jour. Le seuil de fermeture des lampes se situe aux alentours de 250 W/m², mais elles demeurent allumer lors des journées nuageuses. En octobre, les températures extérieures sont parfois chaudes, ce qui affecte la gestion des lampes. Dès que la température extérieure est plus grande que 14 °C, l'accumulation de chaleur dans la serre demande des exigences de ventilation qui peuvent nuire aux cultures. L'excès de chaleur produit par les lampes additionné d'une température extérieure élevée contribue également à l'obtention d'une température moyenne journalière trop élevée. Les plantes brûlent plus de sucres qu'elles n'en forment, alors on n'optimise pas l'ajout de la lumière.

Effeuilage

La lumière fournie par les lampes est distribuée uniformément au-dessus de la culture. L'intensité lumineuse maximale se situe généralement à une distance des lampes évaluée entre 1,8 et 2,4 mètres des ampoules, dépendamment du type de serre. Dans son chemin, la lumière frappe plusieurs feuilles au passage. L'intensité lumineuse mesurée est plus faible sous les feuilles situées dans le bas des plants. Une bonne stratégie est d'effeuiller à l'intérieur du plant afin de créer des ouvertures et améliorer la pénétration de la lumière. Cette action aide les feuilles du bas à mieux transpirer et améliore l'assimilation de la lumière. En pratique, on enlève la 2^e feuille à partir de l'apex chaque semaine. Si les plants forment 3 feuilles par semaine et qu'on en enlève une, ça donne un plant avec 2 feuilles par grappe. Un plant mature porte normalement 7 grappes, on comptera donc 14 feuilles au total sur une plante lorsque l'on pratique cette technique.

7.4 CONDUITE CLIMATIQUE ET AJUSTEMENTS DES RÉGLAGES AVEC L'UTILISATION DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Ventilation avec une température extérieure très froide

La consommation en eau des plantes est un indicateur de performance très important. Lorsque la plante transpire bien, les stomates sont ouverts et les échanges gazeux s'opèrent librement. Lorsque les plantes transpirent bien, elles consomment bien, la culture maintient son potentiel de production. Un des ennemis de la transpiration est la ventilation froide (entrée d'air froid). La culture avec éclairage artificiel a lieu durant la période de l'année où les températures extérieures sont très froides. L'ouverture des toits en hiver est propice à l'entrée d'air froid qui entre dans la serre et frappe l'apex des plants avant d'avoir eu le temps de se réchauffer. Une plante bien réchauffée qui transpire bien, à cause des lampes, ou à cause d'un maintien de température élevée ne tolère pas l'arrivée d'air froid à sa surface. Il se produira alors un arrêt brusque de la transpiration. La gestion de la ventilation se fait de façon à minimiser l'entrée d'air froid dans la serre, éviter les ouvertures soudaines des toits et restreindre l'entrée d'air du côté exposé au vent. Les feuilles sont de couleur vert pâle et tachetées de petites chloroses jaunâtres, les nervures et les pétioles sont violacés. Dans les cas extrêmes, la marge et même la pointe des folioles des feuilles matures qui sont près de l'apex sont jaunies et séchées (figure 7.3).

En pratique, on augmente les réglages de ventilation plus tôt et plus rapidement que les réglages de chauffage afin d'éviter les excès de ventilation lors de l'allumage des lampes. L'allumage des lampes provoque une hausse T° air de la serre de 3-4 °C en seulement 30 minutes. L'absence de ventilation à ce moment fait profiter la plante d'un surplus de chaleur pour stimuler la transpiration. Cette action évite le contact d'air froid sur la tête des plants. L'entrée d'air froid cause des chloroses (figure 7.3) et réduit négativement la surface foliaire. Les nécroses marquées peuvent aussi devenir la porte d'entrée aux maladies fongiques aériennes.



Figure 7.3 Symptômes de ventilation froide : les feuilles matures sont jaunies et séchées.

Gestion des écrans thermiques

La gestion des écrans thermiques devient particulièrement importante avec les lampes HPS. En décembre, par exemple, lors des journées très froides, les températures extérieures peuvent atteindre facilement -20 °C. Les écrans thermiques permettent de maintenir des températures idéales durant le jour en procurant des économies substantielles d'énergie. Durant les périodes de froid extrême prolongées, les écrans thermiques sont maintenus en position fermée durant le jour. Grâce à l'éclairage artificiel, les plantes ne souffrent pas du manque de lumière. Cette technique permet d'économiser de l'énergie. Cependant, si on doit les ouvrir pendant le jour, la gestion de l'ouverture devient aussi importante que l'ouverture de nuit puisque les plantes sont en pleine transpiration active. Tous les réglages doivent être synchronisés afin d'éviter la tombée de l'air froid sur la tête des plants.

Tubes de croissance et tuyaux de chauffage au sol

L'éclairage artificiel apporté par les lampes HPS réchauffe davantage la portion supérieure de la plante. Le diamètre des tiges augmente si les sucres ne sont pas transloqués vers les fruits et les autres organes. Les tubes de croissance sont un outil utile pour chauffer l'air dans le bas de la serre. Mais, en raison de leur position, les tubes de croissance réchauffent localement la région de la plante où les fruits sont à 2 ou 3 semaines du stade de récolte. La gestion de la température de l'eau chaude dans les tubes de croissance agit sur le calibre des fruits. Elle aide à gérer l'équilibre, la vigueur et la charge en fruits. La température de l'eau dans les tubes de croissance se situe généralement entre 35 °C et 55 °C durant l'hiver. Sans les tubes de croissance, il n'est pas rare d'observer des tiges avec des diamètres élevés (figure 7.4). La lumière est le facteur déterminant de la conduite de la culture. La plante et le climat s'adaptent avec la lumière reçue. Le succès obtenu avec la culture de la tomate sous éclairage artificiel est relié fortement au producteur et sa capacité de gérer la culture selon le climat reçu.



Figure 7.4 Photographie d'une tige avec excès de vigueur sous éclairage artificiel.

7.5 ÉVALUATION DU RENDEMENT AVEC ÉCLAIRAGE D'APPOINT

Un plant en pleine croissance portant 7 à 8 grappes dont le stade de développement s'étale des fleurs jusqu'aux fruits près pour la récolte a besoin pour maintenir une haute productivité d'un minimum de 7 000 joules/cm² par semaine. Au Québec, la SRG est en dessous de ce seuil critique du début du mois d'octobre jusqu'au début du mois de mars (figure 7.1). Pour maintenir la SRG pendant l'hiver au-dessus de la barre du 7 000 joules/cm², on a besoin d'un système d'éclairage qui donne une intensité du rayonnement photosynthétique de l'ordre de 165 μ mol/m² – sec (figure 7.5).

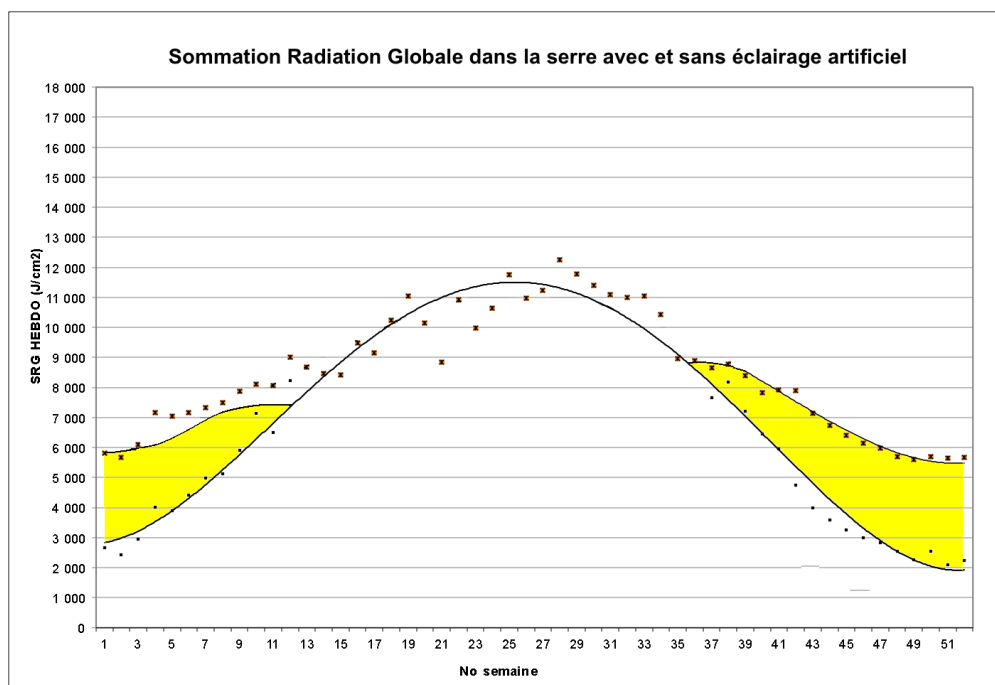


Figure 7.5 Somme de la radiation globale hebdomadaire mesurée à l'intérieur d'une serre qui serait située dans la région de Montréal. La zone en jaune montre l'apport supplémentaire d'un système d'éclairage de 165 μ mol/m²-sec utilisé pendant 2 450 heures par année.

La figure 7.5 montre ce qu'un système d'éclairage de 165 μ mol/m²-sec pourrait apporter en rayonnement global supplémentaire pendant les mois d'hiver où la lumière naturelle est déficitaire pour répondre au besoin minimal de la tomate. Pour concevoir cette figure, les facteurs suivants ont été considérés :

- La SRG naturelle a été mesurée à l'intérieur de la serre. Un facteur de transmission et d'efficacité de la serre à capter l'énergie solaire a été établi à 80 %.

- Le seuil de 7 000 devient donc de 5 600 joules/cm² lorsque mesuré à l'intérieur de la serre.
- Système d'éclairage avec des lampes au sodium de 1 000 watts avec une intensité du rayonnement de 165 μ mol/m²-sec.
- Le nombre d'heures d'allumage des lampes est de 2 450 heures par année.

Estimation du potentiel de production avec et sans HPS

Afin d'estimer la production de la tomate de serre, avec ou sans éclairage artificiel, les paramètres suivants ont été considérés :

- Production de tomates charnues avec un calibre de fruits entre 200 et 300 g.
- 5 000 joules/cm² reçus par une culture de tomates donnent 1,5 kg/m².
- Estimation faite avec la SRG et sans éclairage artificiel de la figure 3.
- La plantation pour la cédule de production sans lampe se fait la première semaine de janvier.
- La culture avec éclairage artificiel est contre plantée en juin. La période sans récolte est de l'ordre de 2 semaines et arrive au mois d'août.

Tableau 7.3 Estimation de la production vendable (kg/m²) d'une culture de tomates (type charnu) avec éclairage d'appoint d'une intensité de 165 µ mol/m²-sec.

	Production avec un éclairage HPS (kg/m ²)
Janvier	5,7
Février	6,2
Mars	7,2
Avril	7,7
Mai	8,6
Juin	9,1
Juillet	9,5
Août	3,5
Septembre	6,2
Octobre	6,5
Novembre	5,4
Décembre	5,2
TOTAL	80,8

7.6 CONDUITE DE LA NUTRITION MINÉRALE ET DE L'IRRIGATION

La conduite de la nutrition minérale ressemble beaucoup à la conduite sans lampe. La conductivité électrique (CE) mesurée au gouteur est de 3,0 à 3,5 mS/cm. La CE mesurée dans l'eau de drainage se situe entre des valeurs de 5,0 mS/cm et 5,5 mS/cm. Ce sont des valeurs moyennement élevées puisque la lumière totale reçue durant la période hivernale est également moyennement élevée.

La conduite de l'irrigation a lieu durant la nuit pendant que les lampes sont allumées. Même s'il n'y a personne dans les serres de minuit à 7 h du matin, les plantes poussent et continuent de consommer de l'eau. C'est la différence principale entre la culture conventionnelle et la culture avec lampes. Si les lampes fournissent autour de 40 J/cm²/h, à 7 h du matin les plantes ont reçu une SRG de 280 J/cm². En général, les plantes ont besoin d'un arrosage à partir de 150 J/cm². L'arrosage de nuit est une pratique courante avec éclairage artificiel. Il peut y avoir 1 à 2 arrosages durant cette période. Afin de gérer le contenu en eau et le drainage des sacs de culture, il est conseillé d'installer des équipements

de mesure : balance, dalle lysimétrique, compteur d'eau ou tensiomètre. Ces équipements reliés à l'ordinateur de la serre donnent des informations qui se visualisent très bien sous forme de graphique. Ils permettent de faire les ajustements nécessaires en fonction de la lumière, du comportement des plantes et du contenu en eau désiré durant la nuit où les lampes sont allumées.

7.7 LE SAVOIR-FAIRE

L'éclairage artificiel présente un mode de production particulier qui assure une production en dehors des cycles réguliers. Cette méthode étant coûteuse en investissement et en frais d'exploitation, elle est généralement limitée aux producteurs ayant acquis une grande expérience. C'est certainement le point crucial de la production en serre avec éclairage artificiel. Il faut appliquer les connaissances nécessaires à une production optimale tout en limitant les erreurs quand on utilise l'éclairage artificiel. La connaissance du comportement des plantes cultivées sous éclairage artificiel est importante. Il est important d'être au courant des variétés qui sont les mieux adaptées. Il est tout aussi incontournable de savoir reconnaître ce qui se passe différemment au niveau du climat de la serre, du système racinaire et du langage de la tomate. C'est avant tout ce savoir-faire qu'il est indispensable d'acquérir, que ce soit par la formation ou la consultation. Selon le rapport de l'université Wageningen en 2005, un facteur important du succès repose sur le chef de culture et de sa capacité de gérer sa culture. La production hivernale sous éclairage artificiel demande de produire des plantes matures sans utiliser une ventilation importante. En hiver, il fait très froid au Québec et le taux d'humidité de la serre peut devenir un facteur environnemental négatif. Si les réglages du climat ne sont pas adéquats, des problèmes fongiques importants peuvent survenir. L'apparition de maladies comme la moisissure grise et l'oïdium est courante.

CHAPITRE 8

CULTURE BIOLOGIQUE

Le Québec a été un pionnier en matière de culture biologique des légumes de serre en plein sol. Notre expérience débute à la fin des années '70 avec nos premiers producteurs.

Aujourd'hui, avec une demande croissante pour des produits biologiques, un intérêt renouvelé se manifeste chez les producteurs et les chaînes d'épicerie. À ce sujet, la production biologique hors-sol est en plein développement et offre de belles possibilités, en parallèle avec la production en plein sol.

QU'EST-CE QUE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE?

Voici une définition élaborée par l'IFOAM (International Federation of Agricultural Movements) en 2002. « *L'agriculture biologique constitue un mode de production qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels. Ainsi, elle exclut l'usage des pesticides de synthèse, d'engrais chimiques ou solubles, d'OGM, et limite l'emploi d'intrants* ». À la base, on peut aussi dire qu'en agriculture biologique, on nourrit le sol, qui lui ensuite, nourrira la plante. L'activité biologique du sol (ou du milieu de culture) est donc primordiale.

COMMENT S'Y CONFORMER?

Pour avoir le droit de commercialiser des produits biologiques, il est obligatoire que l'exploitation soit certifiée. La liste des organismes de certification accrédités au Québec à ce jour est disponible sur le lien suivant : <http://www.cartv.gouv.qc.ca/organismes-de-certification-accredites-mode-de-production-biologique>

8.1 CULTURE EN PLEIN SOL OU HORS-SOL?

Pour quiconque veut démarrer un projet de serres biologiques, c'est une des premières questions à se poser. Le hors-sol est plutôt récent et est arrivé avec la demande pour de plus gros projets de serre. Mais traditionnellement, la presque totalité des exploitations biologiques du Québec est exploitée en

plein sol; et c'est encore majoritairement le cas pour les petites et moyennes entreprises. Voici quelques avantages et inconvénients des deux possibilités.

Plein sol

AVANTAGES

- Peut être vu comme plus « naturel » parce qu'utilise le sol en place, avec l'activité biologique qu'il a et que l'on pourra développer.
- La serre n'est pas « encombrée » par les contenants/bacs de culture et certaines machineries peuvent être utilisées (ex : parfois même un tracteur) pour préparer le sol.
- La culture profite d'un très grand espace-sol : les racines peuvent se développer beaucoup; la réserve d'eau utile est très grande, donc irrigations moins fréquentes; très grand pouvoir tampon.
- Certaines opérations peuvent être plus faciles à faire ou à mécaniser (fertilisation).
- Milieu plus facile pour le développement de la faune et de la flore utile dans les sols.

INCONVÉNIENTS

- On n'a pas toujours le sol idéal sur place.
- Il pourrait aussi y avoir des contaminants : résidus de pesticides et engrais chimiques.
- Plus de précautions pour le drainage (obligatoire) et le chauffage du sol (le cas échéant).
- Comme peu de rotations sont possibles, si des problèmes phytosanitaires importants venaient à se développer, il sera difficile de changer le sol; à moins d'avoir prévu ce qu'il faut pour désinfecter le sol à la vapeur.

- Si des déséquilibres nutritionnels importants et quasi impossibles à corriger se développent, il sera difficile de changer le sol.

Hors-sol

AVANTAGES

- À défaut d'un sol propice, cela permet de se fabriquer un milieu de culture adéquat.
- Contrairement au sol qui peut varier de composition et de caractéristiques sur une superficie donnée, le milieu de culture choisi sera uniforme partout.
- Plus facile à drainer et à chauffer.
- Plus facile de récupérer les eaux de drainage et éventuellement de les réutiliser dans la culture.
- Si un problème phytosanitaire important survient, il sera plus facile de changer complètement le milieu de culture, ou de le désinfecter.

INCONVÉNIENTS

- Les contenants/bacs de culture peuvent être un obstacle au travail et à certaines mécanisations ou travaux.
- Un suivi plus étroit de l'irrigation et de la fertilisation est nécessaire, car le volume exploité par les racines est plus petit.
- Il faut veiller à ce qu'une activité biologique adéquate s'y développe.

8.2 AVANT DE CONSTRUIRE OU DE PLANTER...

Pour être heureux en exploitation biologique, une certaine chronologie des étapes d'un projet doit être respectée.

Le « capital productif » de l'exploitation est le sol/milieu de culture et tout doit être mis en œuvre pour que cette étape soit bien réalisée.

Tout d'abord, le drainage du sol et du site est obligatoire, que l'on produise dans le sol ou hors-sol. Une serre où le sol est humide génère constamment de l'humidité et le climat sera plus difficile à contrôler et les risques de maladies sont plus grands. Comme idée de base facile à retenir, disons que l'on peut mettre un drain extérieur autour des serres et un drain sous chaque plate-bande de culture ou bacs. On pourra aussi prévoir la collecte des eaux qui s'y écoulent (drains à l'intérieur de la serre) et éventuellement leur réutilisation dans la culture, avec ou sans traitement. Les recherches effectuées sur les marais filtrants montrent qu'ils peuvent avoir une bonne efficacité pour diminuer les risques de maladies. Mais certains producteurs réutilisent le drainage sans traitement et n'ont pas de problème.

Si l'idée est de produire à l'année ou presque, il faudra penser à chauffer le sol; cela vaut aussi pour les bacs de culture même si ceux-ci se réchauffent plus facilement étant hors-sol. Le meilleur système demeure celui avec des petits tuyaux à 45 cm dans le sol dans lesquels de l'eau chaude circule. Oubliez les systèmes à air chaud, ils sont peu efficaces. Consulter vos conseillers pour plus de détails.

Particulièrement pour ceux qui produisent en plein sol, un moyen de désinfecter le sol en place peut être une excellente idée. La meilleure façon de le faire est en aspirant de la vapeur (poussée sur le sol) dans des drains placés à chaque mètre et à 45 cm de profondeur dans le sol. Un essai réalisé au Québec a donné d'excellents résultats²⁹.

Une autre question qui se pose pour la production en plein sol : produire sur billons (surélevés) ou pas. La décision va avec le type de sol rencontré. Si le sol est très léger, les bénéfices seront moins grands. Mais pour un sol plus lourd qui a plus de difficulté à se réchauffer et à se drainer, les billons sont une bonne idée (figure 8.1). Nous suggérons aussi que les plates-bandes soient « permanentes » (toujours au même endroit); cela évite la compaction et favorise l'activité biologique du sol.

Si l'on choisit de cultiver en bacs ou autres contenants, les normes de certification québécoises exigent 100 litres de milieu de culture par mètre carré de serre. Cela représente près de 40 litres de milieu de culture par plant (si densité à 2,6 plants/m²). Le bac ou contenant doit mesurer au moins 30 cm de hauteur et sa largeur sera de 60 cm ou plus afin de rencontrer les normes minimales de volume. Les côtés des bacs peuvent être confectionnés en bois non traité avec un film de plastique à l'intérieur,

²⁹ André Carrier, agronome, MAPAQ et Adrien Pouliot, producteur. Désinfection à la vapeur d'un sol de serre biologique. Journée d'information en serriculture, 4 février 2003, MAPAQ.

mais il sera percé pour assurer l'écoulement vers le drain et la récupération des eaux le cas échéant. Le fond du bac peut être en « V » et donner directement sur un drain de récupération. S'il y a récupération, il faut aussi prévoir tout le système qui va avec cela : collecte des drains, réservoir, filtration et retour dans le système d'irrigation.

8.3 LA CULTURE BIOLOGIQUE EN SERRE

Caractéristiques souhaitables du sol

On parle ici des mêmes exigences qu'en maraîchage de champ en général : sol léger (exemple loam sablonneux), bien drainé, non compacté, profond et avec 3 % et plus de matière organique. La fertilité et le pH au départ ne sont pas si importants, car ceux-ci pourront être corrigés en cours de route. Éviter les sites bas (souvent humides et frais) et les affleurements rocheux. Trop de pierrosité sera un handicap aussi.

Les sols trop argileux sont à proscrire, car même s'ils sont plus riches, ils sont difficiles à drainer et à se réchauffer et se travaillent mal. Par exemple, il se forme facilement des mottes dures si le sol est travaillé lorsqu'il est trop humide.

Les « terres noires » ne sont pas la solution idéale non plus, car avec leur important % de matière organique, la gestion de la fertilisation est plus compliquée et tout particulièrement la fertilisation azotée. Le drainage de ces sols est souvent assez mauvais et difficile à réaliser convenablement.

À retenir que l'état du sol peut beaucoup influencer le potentiel des divers fumiers et composts

ANALYSES

Il est impératif de faire analyser le sol choisi afin d'être en mesure d'effectuer les correctifs de base en termes de pH et de fertilité. En serriculture biologique, il est très intéressant de faire 2 types d'analyse pour un même échantillon : l'analyse standard et l'analyse SSE (extraction des minéraux à l'eau).

Pour un nouveau site, il serait important de demander en plus, l'analyse de texture du sol (% sable, limon et argile) et l'importance de la réserve utile en eau (cela aidera pour mieux cibler les irrigations). Ces analyses font partie des options à ajouter sur l'analyse standard (Mehlich III).

L'**analyse standard** (Mehlich III) donne une idée des réserves du sol, de son % de matière organique, de sa capacité d'échange cationique et du % de saturation des principales bases (calcium, potassium

et magnésium). Les valeurs moyennes³⁰ à viser pour une première « correction » du sol (sables et loams) sont :

% de matière organique : 3 à 6,5	Magnésium : minimum 200 kg/ha
pH : 6,5	Zinc : 1,1-1,8 ppm
Phosphore : 200-300 kg/ha	Cuivre : 0,3-0,6 ppm
Potassium : 400-500 kg/ha	Manganèse : plus que 12 ppm
Calcium : 2 000-7 000 kg/ha	Bore (à l'eau chaude) : 0,8-1,1 ppm

L'analyse SSE (Soil Saturated Extract) donne ce qui est immédiatement disponible dans le sol pour la plante, de même que le pH et la conductivité électrique de la solution extraite.

Les valeurs moyennes recherchées sont :

Conductivité électrique : 2,0- 2,5 mS/cm	Magnésium : 100-125 ppm
pH : 6,5	Fer : 1,0-2,0 ppm
Nitrates : 100-175 ppm	Zinc : 0,75-1,25 ppm
Ammonium : moins de 10 ppm	Cuivre : 0,2-0,3 ppm
Phosphore : 12-18 ppm	Manganèse : 0,75-1,25 ppm
Potassium : 200-250 ppm	Bore : 0,2-0,3 ppm
Calcium : 250-350 ppm	

Adapté de Reed *et al*, 1996³¹.

La préparation de base consiste à confectionner les planches de culture ou les billons le cas échéant et à en mélanger les ajouts, exemples : chaux, compost, autres engrais. La bêcheuse rotative reste un équipement difficile à remplacer pour ce travail. Pour éviter de trop pulvériser le sol, des lames de 45 degrés (au lieu de 90 degrés) peuvent être utilisées. Mélanger sur une profondeur de 20 cm. Ceci suppose qu'à plus de 20 cm, le sol est quand même non compacté. S'il y a compaction, un outil manuel comme la grelinette peut faire de l'excellent travail. Les quantités de base de chaux (calcique

³⁰ Weill, A. et J. Duval. 2009. Le maraîchage diversifié, guide de gestion globale. Équiterre, 2009, 359 p.

Guide de référence en fertilisation. 2003. CRAAQ, 294 p.

³¹ Reed, D. W. *et al*. 1996. Water, media and nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing, Batavia, Illinois, 314 p.

ou dolomitique), de compost et des autres engrais peuvent être calculées selon les diverses grilles disponibles dans les guides de fertilisation usuels.

Culture hors-sol

Les critères de base mentionnés pour le choix d'un sol sont valables ici aussi. Mais les normes de certification viennent préciser certains aspects pour la production hors-sol au Québec :

- Le milieu de culture doit constamment contribuer à l'apport nutritif et doit comporter une fraction minérale : sable, limon et argile; et une fraction organique : matière organique du sol choisi ou terre noire, mousse de tourbe, fibres de noix de coco, bran de scie, compost, etc. Les différents pourcentages ne sont pas précisés, il y a donc de la latitude.
- Au départ, le milieu confectionné doit comporter au moins 10 % de compost sur une base volumétrique.
- Le milieu doit pouvoir soutenir la vie et la diversité écologique. La présence de vers de terre est obligatoire.
- La fertilisation en cours de culture doit comporter du compost.

Les analyses et préparations de base sont les mêmes que pour la culture en plein sol. La confection du milieu de culture permettra toutefois de bien mélanger les diverses composantes avant de le placer dans les bacs de culture. Les grilles de chaux et de fertilisants sont en tonnes ou kilogrammes à l'hectare. Les quantités à mélanger dans le milieu de culture pourront être déterminées selon la surface de plancher de la serre (bacs et allées).

Exemple de milieu de culture :

- Mousse de tourbe (30-50 %)
- Fibres de noix de coco (10-20 %)
- Compost (10 %)
- Sable et argile (5-10 %)
- Vermiculite (5 %)
- Perlite (5 %)

- Chaux et engrais organiques de base

Mise en place de la culture

PLEIN SOL

La culture biologique respecte les critères établis pour les densités de culture efficaces dans la tomate de serre. Par ailleurs, comme les plants ont plus tendance à être forts végétativement, une légère diminution de densité peut s'avérer judicieuse dans bien des cas. Ceci dit, afin de garder un espace convenable pour les travaux en serre, on ne doit pas trop multiplier les plates-bandes. Ainsi, dans une chapelle de serre de 6,4 à 7,6 mètres de largeur, on voit souvent 3 plates-bandes à 2 rangs chacune (cela peut être 2 si la serre est de 6,4 mètres de largeur) et 2 demi-plates-bandes à un rang sur les côtés. Pour une densité de plantation de 2,6 plants/m², cela donne un espacement entre les plants sur le rang d'environ 40 cm. L'espacement entre les rangs sur les plates-bandes à 2 rangs est de 30 à 45 cm. Lorsque les plants sont greffés et comportent 2 tiges, on doit les compter pour 2 plants.

Certains choisissent aussi de ne pas faire de rangs doubles et de serrer davantage les plants sur le rang; pas de problème avec cela pourvu que les plants ou tiges soient tuteurés sur 2 rangs distincts et en « V » afin que les têtes aient toutes le maximum de lumière. Cette disposition sur un rang facilite l'application des engrais, car il n'est pas aisé d'aller mettre des engrais entre 2 rangs.

Les rangs « doubles » doivent aussi être tuteurés en « V » afin de maximiser l'entrée de lumière dans la culture. Une remarque s'impose pour les plants greffés à 2 tiges : comme ces plants comportent souvent un « Y » (tiges au niveau des cotylédons), il faut faire attention au sens du tuteurage, car ils sont faciles à briser au centre du « Y ».

HORS-SOL

Là aussi, il ne sert à rien de mettre trop de bacs par chapelle, car le travail sera plus difficile à faire et moins efficace. Les bacs sont moins larges qu'une plate-bande; il n'est donc pas pratique d'y mettre des rangs doubles. Exemple : pour une chapelle de 21'4", 3 bacs de 75 cm de largeur et 3 allées correspondantes de 1,40 m (disposition allée-bac, allée-bac, allée-bac). Avec un rang par bac et des plants à 2 tiges espacés de 30 cm chacun et tuteurés sur 2 rangs, cela donne une densité de près de 3 tiges/m². La culture en contenant a pour effet de faire « perdre » un 30 cm ou plus de hauteur à la serre, du fait de la hauteur des bacs. En serre basse, cela a son importance.

Irrigation

L'idée de base est d'être en mesure de bien mouiller la plate-bande ou le bac en tout temps afin de combler les besoins, même en période de forte demande. L'équipement le plus usuel et économique, c'est le petit tube goutte à goutte avec gouteurs aux 20 cm utilisé en culture de plein champ. Ce tuyau mouille environ 30 cm de largeur. Donc, pour une grosse plate-bande, on peut installer jusqu'à 5 tuyaux goutte à goutte et pour un bac de 75 cm, 3 tuyaux. Les tuyaux à parois plus épaisses dureront plus longtemps et pourront donc être récupérés à la fin de la culture et réutilisés plusieurs fois. Il sera important par contre de bien les nettoyer et les désinfecter avant de les réutiliser.

L'utilisation de tensiomètres est très utile pour déterminer si on doit irriguer ou non. Selon les types de sols, l'irrigation pourra être démarrée lorsque le tensiomètre indique entre 25 et 50 centibars. La régie de l'irrigation est très différente de celle en culture hydroponique. En culture hydroponique, le volume de substrat par plant est très petit (ex. : 4 à 7 litres/plant) alors qu'il est très important en plein sol (80-100 litres/plant) et même en bacs (ex. : 40 litres/plant).

Donc, en pratique, en plein sol, 3 ou 4 irrigations par jour ou moins pourront suffire la plupart du temps. En bacs, les irrigations seront forcément plus nombreuses (ex. : 8 à 16 irrigations de 250 ml par jour par plant). Les principes de base pour le début et la fin des irrigations sont les mêmes qu'en culture hydroponique. On ne débute les irrigations que lorsque les plants sont actifs (ex. : 2-3 heures après le lever du soleil) et on les arrête en après-midi afin que l'on puisse entreprendre la nuit avec un sol ressuyé.

COUVRIR LE SOL OU LE DESSUS DES BACS

Le sol et le dessus des bacs de culture doivent être recouverts afin que l'humidité soit constante et que les engrais et composts puissent se décomposer plus rapidement. Les divers organismes vivants et la faune du sol seront aussi plus actifs. Un compost ou un engrais qui sèche ne peut pas se décomposer et libérer ses éléments nutritifs. La solution la plus pratique est souvent la pose sur le sol de lanières de plastique blanc/noir utilisées normalement comme couverture de sol en serres hydroponiques (photo ci-



contre). Il faudra bien sûr les relever pour appliquer les engrais; à cet effet, les supports de tiges en broches peuvent servir à retenir les plastiques de sol le temps de la fertilisation.

Le greffage des plants, une nécessité!

Nous n'expliquerons pas ici tous les détails du greffage des plants, il en est question en détail dans le chapitre 3. Nous souhaitons simplement rappeler qu'en culture biologique, particulièrement en plein sol où il y aura peu ou pas de rotation des cultures et peu de moyens pratiques de changer le sol, les maladies de racines finissent impitoyablement par arriver. Le greffage est donc obligatoire!

Ce sera la même chose en bacs si le milieu de culture n'est pas changé ou désinfecté (ex. : à la vapeur).

En culture de plein sol, la maladie la plus fréquente est celle dite des racines liégeuses (*Pyrenochaeta lycopersici*), qui est aussi bien connue sous le nom de « corky roots ». Les nématodes (petits vers microscopiques) peuvent aussi se multiplier et forment des nodosités (petites boules) sur les racines. Par ailleurs, les cultivars modernes comportent déjà plusieurs résistances fort utiles, dont celle de la pourriture fusarienne des racines et du collet (FORL) qui fut un véritable cauchemar pour les serristes dans les années '80. Donc, choisir un porte-greffe avec plusieurs résistances, dont celle obligatoire de la racine liégeuse. Par ailleurs, la racine liégeuse n'est pas un problème dans les cultures hydroponiques (sans sol) et les porte-greffes utilisés n'ont pas toujours la résistance à la racine liégeuse.

Il faut aussi porter une attention toute particulière à l'influence qu'aura le porte-greffe sur l'équilibre génératif/végétatif du greffon. Certains porte-greffes donnent des plants greffés qui sont souvent plus végétatifs que le greffon seul. Déjà que non greffé, les plants cultivés en biologique sont souvent plus végétatifs, il est hautement recommandé de cultiver les plants greffés avec 2 tiges par plant tout au long de la saison.

La fertilisation biologique de la tomate

Il s'agit là d'un sujet fort complexe dont tous les aspects ne sont pas encore complètement compris. Il n'est pas sûr que nous comprenions complètement la complexité de la multitude de réactions et d'interactions physiques, chimiques et biologiques du sol. Ce qui semble établi en culture conventionnelle ou hydroponique ne s'applique peut-être pas entièrement à la culture biologique. Par exemple, est-ce que les analyses de sol que nous faisons décrivent bien la réalité d'un sol sous régie biologique qui a une activité biologique intense?

La plupart des engrais organiques contiennent presque tous les éléments nutritifs, mais pas dans des proportions souhaitables pour la culture et ils ne donnent souvent pas tout ce qu'ils ont la première année. Il y a donc une fertilité résiduelle constante qui est difficile à préciser. Cela complique les calculs des besoins de la culture. Ceci étant dit, malgré ces « considérants », plusieurs entreprises tirent tout de même bien leur épingle du jeu. L'approche la plus logique restera toujours de tenter de combler les besoins de la culture le mieux possible avec les engrais disponibles et à l'aide des méthodes d'analyses de sol que l'on a; et ce, sans oublier l'expérience et de l'expertise précieuses acquises dans la gestion de la culture au fil du temps.

BESOINS NUTRITIFS DE LA TOMATE

En serre, comme les conditions climatiques sont davantage contrôlées, que la période de production est beaucoup plus longue qu'en champ et que les rendements sont beaucoup plus importants, une approche très logique consiste à évaluer les besoins par kilogramme de fruits produits. Nous retenons ici les résultats de chercheurs hollandais³².

³² Sonneveld, C. et W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer Science Business, 431 p.

Pour chaque kg/m² de fruits produits sur 1 ha, les besoins sont :

- 30 kg de N (azote)
- 10 kg de P (phosphore)
- 40 kg de K (potassium)
- 30 kg de Ca (calcium)
- 10 kg Mg (magnésium)

Pour une prévision de rendement de 60 kg/m², pour une serre de 1 ha, le besoin en fertilisants minéraux et organiques serait de :

- 1 800 kg de N
- 600 kg de P
- 2 400 kg de K
- 1 800 kg de Ca
- 600 kg Mg

C'est énormément d'engrais. Une image : supposons que ce soit un engrais minéral de formule 18-6-24 (les ratios des besoins sont couverts), cela en prendrait 10 000 kg/ha! La plupart du temps, les fertilisations en champ sont de l'ordre de quelques centaines de kg/ha. On constate aussi qu'une si grosse quantité de fertilisants **doit absolument être fractionnée dans le temps**.

CHOIX DES ENGRAIS ET COMPOSTS

La liste des engrais et composts permis en culture biologique est disponible dans le *Manuel des intrants biologiques*³³. La liste comprend les composts et fumiers commerciaux, les fumiers de vers de terre et d'insectes, les produits et sous-produits de la mer (farines de poissons, algues, crustacés et mélanges), les produits et sous-produits agricoles (sous-produits animaux et d'origine végétale), les engrais et amendements minéraux et organiques, les engrais liquides, les substances inoculées et stimulants de croissance (*Rhizobium*, mycorhizes, préparats biodynamiques, hormones végétales, acides humiques, charbons, acides humiques et conditionneurs de sol).

³³ Document disponible sur le site du Centre d'Expertise et de Transfert en Agriculture Biologique et de proximité (CETAB) : <http://www.cetab.org/mib>

Le compost doit obligatoirement faire partie de la fertilisation; il est donc de première importance qu'il soit de qualité à tous points de vue. Les autres engrais viendront compléter les apports nutritionnels amenés par le compost. Comme il y a toujours trop de phosphore avec les composts et qu'il faut donc en limiter les quantités, les autres engrais servent la plupart du temps à amener de l'azote et du potassium. Et la façon la plus logique est d'avoir des engrais plus « simples » qui n'ont que de l'azote (farine de plumes) ou du potassium (sulfate de potassium). Mais le choix est vaste et les possibilités sont multiples. Il faut toujours regarder les coûts et la disponibilité des divers engrais et faire attention au contenu en éléments nutritifs; par exemple, un engrais peut contenir l'azote que l'on veut, mais s'il amène constamment des quantités de phosphore dont nous n'avons pas besoin, celles-ci finiront par s'accumuler dans le sol et engendrer des déséquilibres. Les engrais liquides en général ne sont pas concentrés et coûtent cher. Ils ne sauraient suffire pour nourrir une récolte. Mais, ils peuvent être utiles pour des appoints particuliers et les applications foliaires.

FAIRE SON COMPOST OU L'ACHETER?

Le compost peut être fabriqué sur la ferme, mais cela requiert du temps et de la machinerie et les contrôles pour la certification sont stricts : site, composition, nombre de retournements, températures atteintes, etc. Dans bien des cas, la meilleure option est de s'approvisionner chez un fournisseur fiable et expérimenté. Il est l'ingrédient qui activera le plus l'activité biologique du sol. Trop de composts faits sur les fermes manquent de suivi et sont souvent délavés, donc moins riches. Les fabricants expérimentés garantissent leurs produits sur divers aspects et des recettes sur mesure avec divers ajouts peuvent parfois être faites à la demande du client. Des composts bien faits ont de meilleures qualités suppressives envers les maladies des cultures; ceci est un aspect non négligeable que les fabricants développent de plus en plus.

PROGRAMME DE FERTILISATION POUR LA TOMATE

Que ce soit pour une nouvelle serre ou non, on ne peut préparer un plan de fertilisation si on ne connaît pas la fertilité du sol ni la composition des composts et engrais que l'on ajoutera. Donc, les analyses de sol (standard et SSE) de chaque serre (faire un échantillon différent pour des groupes de serres que l'on sait différents) et des composts utilisés sont la première étape à réaliser pour définir le plan de fertilisation.

Parce que chaque cas est particulier en culture biologique, il n'est pas possible de donner un plan de fertilisation « universel ». Aux fins de ce guide, nous donnerons un exemple de ce que cela pourrait être, mais il revient à chaque producteur de regarder et d'analyser tout cela avec ses conseillers.

Tout d'abord, dans notre exemple, nous supposons que les niveaux moyens cités précédemment sont atteints et que le pH a été corrigé avec de la chaux calcique ou dolomitique. La fertilisation concernera donc essentiellement à combler les besoins de la tomate.

Notre exemple est une entreprise biologique de 3 000 m² (grandeur moyenne de l'entreprise de légumes de serre au Québec) qui cultive sur 10 mois et vise obtenir 50 kg/m² (en plein sol ou en bacs).

Selon les besoins de la culture déjà mentionnés auparavant, pour 0,3 ha et 50 kg/m², les besoins seront :

- 450 kg de N
- 150 kg de P
- 600 kg de K
- 450 kg de Ca
- 150 kg Mg

On doit faire une correction sur le P et le K, car en fertilisation, les besoins en fertilisants de phosphore sont exprimés en P₂O₅ et K₂O. La conversion se calcule comme suit :

- P (kg) X 2,29 = P₂O₅ (kg) → 150 X 2,29 = 343 kg P₂O₅
- K (kg) X 1,2 = K₂O (kg) → 600 X 1,2 = 720 kg K₂O

Le compost utilisé est de type commercial à base de fumiers de bovins et son analyse donne (kg/tonne) :

N : 5,8 P₂O₅ : 10,1 K₂O : 4,1 Ca : 13,5 Mg : 2,78

La disponibilité des éléments la première année est évaluée à :

N : 30 % P₂O₅ : 65 % K₂O : 100 %

Donc, par tonne utilisée, ce qui sera disponible (kg/tonne) la première année est :

N : 1,74 P₂O₅ : 6,56 K₂O : 4,1

Afin d'éviter de trop mettre de phosphore avec le compost, commençons par combler les besoins en phosphore avec celui-ci. Cela aurait pu être différent avec un autre compost riche en potassium par exemple. Les besoins sont de 343 kg de P_2O_5 et chaque tonne de compost en amènera 6,56 kg, donc cela prendra 52 tonnes de compost. Avec ce 52 tonnes de compost, d'autres éléments minéraux vont être apportés :

- N : $1,74 \text{ kg/t} \times 52 \text{ t} = 90 \text{ kg N}$ et les besoins en N sont de 450 kg; reste 360 kg à combler, par exemple avec 3 000 kg de farine de plumes (12 % N).
- K_2O : $4,1 \text{ kg/t} \times 52 \text{ t} = 213 \text{ kg } K_2O$ et les besoins sont de 720 kg K_2O ; reste 507 kg à combler, par exemple avec 1 014 kg de 0-0-50 (sulfate de potassium) qui pourront être mis dans le goutte-à-goutte. Par exemple, on pourrait envoyer avec l'eau d'arrosage 100 ppm aux 2 jours toute la saison.
- Ca : $52 \text{ t} \times 13,5 \text{ kg/t} = 702 \text{ kg}$ disponibles presque en totalité et cela comble plus que les besoins estimés à 450 kg.
- Mg : $52 \text{ t} \times 2,78 \text{ kg/t} = 145 \text{ kg}$ disponibles presque en totalité et cela comble environ 100 % des besoins.

On le constate, ce sont de très grandes quantités d'engrais et elles doivent absolument être réparties sur toute la saison de culture. Un bon compromis serait de fertiliser une fois par mois. Sur 10 mois, cela donnerait en moyenne par fertilisation pour 3 000 m² :

- 5,2 tonnes de compost + 300 kg de farine de plumes
- Le 0-0-50 peut être dissous dans l'eau d'arrosage et ainsi être apporté par l'irrigation.

Par contre, ceci n'est pas complètement exact, car les besoins de la plante ne sont pas uniformes toute sa vie, il faut moduler. Moins au début, avec augmentation à mesure que le plant se charge et maximum en été quand ça pousse vite et que la charge est maximale; à la fin de la saison, on redescend, car les plants ralentissent. Voilà.

APPLICATION DES ENGRAIS ET COMPOSTS

En culture biologique, les plates-bandes ou bacs sont recouverts d'un plastique afin que les engrais restent humides et se décomposent plus rapidement. Mais cela fait qu'il y a des racines très en

surface, immédiatement sous la toile. Lors de l'application des engrais, la toile doit bien sûr être enlevée ou soulevée. Un bon truc : elle peut être accrochée ou retenue par les supports de tiges faits en grosse broche.

Tout ce qui est mis solide doit être épanché uniformément sur les plates-bandes de culture ou sur les bacs, car les racines colonisent toute la surface. Les farines et certains autres engrais peuvent brûler les racines si elles sont mises seules sur la plate-bande. Pour contourner cela, les farines peuvent être mélangées au compost.

L'application des fertilisants s'effectue le plus souvent à la main, avec un chariot ou une brouette contenant les engrais. Mais tout cela pourrait se mécaniser un peu, avec un appareil qui entrerait dans les allées et déverserait le mélange d'engrais le long des plates-bandes ou bacs. Cela pourrait en fait ressembler au petit distributeur à ensilage que l'on prend pour donner l'ensilage aux vaches dans les étables. Ne resterait qu'à mieux épandre, exemple avec une petite pelle, le tout sur la plate-bande et remettre les plastiques. Avis aux bricoleurs!

Attention, il peut y avoir dégagement d'ammoniaque suite à une application de certains engrais contenant de l'azote, suffisamment pour occasionner des brûlures (nécroses) sur les plants. Veiller à bien ventiler les serres après de telles fertilisations.

SUIVI DE LA FERTILISATION

On s'en doute, la chose est pas mal plus difficile qu'en culture hydroponique où on peut changer rapidement la composition et la concentration de la solution nutritive. Les engrais organiques sont plus lents à réagir que les engrais chimiques. Mais les farines et engrais granulés de fumier de poule par exemple, réagissent tout de même assez vite et libèrent une grande partie de ce qu'ils ont en quelques semaines. Il n'en est pas de même avec les composts. On l'a vu dans notre calcul, nous avons calculé 30 % de disponibilité de l'azote et 65 % du phosphore la première année. Certains auteurs disent même que pour l'azote, cela peut varier entre 0 et 50 % la première année. Il reste donc d'importantes quantités de fertilisants dans le sol, immobilisées dans l'humus, qui seront éventuellement disponibles pour les prochaines cultures, entre autres grâce à la minéralisation de l'humus. Il faudra se souvenir de cela pour les applications d'engrais qui suivront, au risque de trop en appliquer avec les conséquences que cela implique : excès et déséquilibres dans le sol, plants trop végétatifs, etc.

Le suivi doit s'effectuer en sachant ce qui se passe dans le sol avec des analyses et en suivant de près le développement et la croissance des plants. Ce dernier point étant abondamment décrit dans d'autres chapitres de cet ouvrage.

Les échantillons de sol pour les analyses standard et SSE sont bien sûr envoyés au laboratoire, mais le producteur peut lui-même faire régulièrement des tests qui ne coûtent pas cher avec un pH-mètre et un salinimètre avec la technique 2:1 : solution obtenue en mélangeant 1 partie sol avec 2 parties d'eau (base volumétrique).

Quant à la fréquence des analyses, il est suggéré de faire au minimum :

- Labo : une fois à la fin de la saison pour savoir comment fertiliser au début de la saison suivante et 2 autres fois en cours de culture.
- pH et salinité « maison » : une fois par mois et au besoin, jusqu'à une fois par semaine.

Il semble admis en général que le résultat de la salinité « maison » doit être multiplié par 2 pour correspondre davantage au résultat du laboratoire. Au laboratoire, la salinité est mesurée sur l'eau extraite de la « pâte » faite avec le sol, il y a donc pas mal moins d'eau. Les échantillons de sol doivent être pris au niveau des racines avec une cuillère afin d'éviter la couche superficielle très concentrée où les engrais sont appliqués. Quand la salinité obtenue par technique 2:1 est en dessous de 1,0 mS/cm, on peut commencer à se préparer pour fertiliser.

Les laboratoires peuvent effectuer des analyses foliaires. Elles sont utiles en certaines circonstances afin de préciser le statut de la culture ou d'identifier plus précisément une carence ou un excès. Mais, il ne nous apparaît pas nécessaire d'en recommander fréquemment. Elles seront aussi plus utiles au débutant qu'au producteur expérimenté.

STIMULER L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL OU DU MILIEU DE CULTURE

Avec des moyens de production de plus en plus performants, il est de bon aloi de faire en sorte que le sol travaille le plus rapidement possible, ou du moins qu'il ne soit pas ralenti par différents problèmes non corrigés. Cela ferait en sorte que les grandes réserves du sol libéreraient plus rapidement ce

qu'elles ont. Afin de stimuler l'activité du sol, voici quelques idées qui proviennent d'une conférence de Monsieur Denis La France du CETAB³⁴ :

- Bon drainage et bonne aération du sol.
- Faible chaulage si pas d'excès de calcium.
- S'assurer d'une bonne structure du sol et de pratiques de travail du sol moins agressives.
- Faire agir des systèmes racinaires diversifiés. Si possible, faire de la rotation des cultures ou semer des engrais verts entre les saisons de production.
- Produire mieux les composts et en faire des plus riches en azote et potassium et plus faibles en phosphore, pour cela il faut éviter les fumiers de volailles.
- Produire des composts jeunes, faciles à minéraliser et éviter les matières trop ligneuses comme le bois et la paille.
- Apporter des matières vertes comme le foin de légumineuses (luzerne, trèfle) pour simuler un engrais vert. On pourrait aussi apporter des feuilles et déchets de taille des tomates, à condition bien sûr qu'ils soient exempts de maladies bactériennes ou de virus. Le retour au sol des déchets de taille pendant la culture pourrait représenter jusqu'à 20-25 % des besoins en azote! Il n'y a qu'à les mettre sous le plastique qui recouvre les plates-bandes et ils se décomposeront très rapidement.
- Au besoin, inoculer le sol avec des lombrics et autres vers.
- À évaluer : les activateurs de sol (préparations biodynamiques, acides humiques, etc.), les thés de plantes et de composts.
- Pour les sols trop légers, on pourrait ajouter une tonne de montmorillonite par hectare par année. Cela aura pour effet d'augmenter la capacité d'échange cationique et le pouvoir d'accumuler des réserves.

³⁴ La France, D. 2009. L'activité biologique des sols... comment la stimuler. Journée d'information en production biologique des légumes de serre, MAPAQ Chaudière-Appalaches. <http://www.agrireseau.qc.ca/Legumesdeserre/>

8.4 PROBLÈMES ET SITUATIONS FRÉQUEMMENT RENCONTRÉS

La culture biologique hors-sol étant relativement plus nouvelle, les propos qui suivent concernent davantage la culture en plein sol où nous avons presque 40 ans d'expérience :

- Les serres avec sols légers sont plus faciles à gérer et accumulent moins de surplus; mais le lessivage d'éléments nutritifs y est plus important.
- Le pH des sols gérés biologiquement a rapidement tendance à monter (ex. : 6,8 à 7,2). Cela est causé par les applications répétées de compost, il est un peu alcalin et contient de bonnes quantités de calcium, et les applications trop généreuses de chaux.
- Le pH élevé ne favorise pas la disponibilité des éléments comme le fer et le manganèse. On peut en avoir de grandes quantités et des signes de carences se développeront tout de même, surtout sur des plants chargés, avant le début de la récolte.
- Le % de matière organique augmente avec les années. Cela est particulièrement causé par les applications de compost. Il ne semble pas y avoir de problème à augmenter jusqu'à 15 %.
- Certains composts ne sont pas faits dans les règles de l'art et le producteur n'en connaît souvent pas la valeur fertilisante. Cela peut amener des déséquilibres nutritifs et des résultats dont on ne s'attendait pas.
- La culture biologique donne souvent des plants trop végétatifs. Mis à part la gestion du climat et des plants, il ne faut pas oublier les quantités résiduelles d'engrais (azote) importantes qu'il reste dans le sol et qui deviennent disponibles par la minéralisation de la matière organique. Si cet aspect est négligé, les surplus d'azote favoriseront la croissance végétative des plants, avec les divers inconvénients que cela engendre.

- La salinité du sol est souvent élevée (3,0 mS/cm et plus) à cause de l'accumulation d'engrais ou autre élément venant avec : sodium, sulfates, etc.
- En analyse standard (Mehlich III), avec le temps on observe des niveaux très élevés de presque tous les éléments, il y a donc accumulation. La capacité d'échange cationique (CEC) augmente elle aussi avec le temps. On a déjà vu jusqu'à 40 meq/100g, de même que le % de saturation en bases qui frise les 100 %.
- En analyse SSE, les résultats correspondants sont beaucoup plus bas, voire à la limite de l'acceptable selon les standards des références. Donc, les réserves importantes du sol ne semblent pas se libérer facilement, ou encore la méthode SSE est mal adaptée aux sols régis en biologique.
- Déséquilibres entre les éléments. Le manque de connaissance de ce qu'il y a dans le sol et l'utilisation répétée d'engrais non pertinents génèrent des situations de surplus et de déséquilibres. Voici 3 exemples :
 - Si on applique du Sulpomag (0-0-22 et 11 % Mg) pour amener du potassium, on amène toujours aussi le 11 % de Mg et ce dernier s'accumule, de même que les sulfates.
 - Si on applique trop de compost, il se produira une augmentation du pH et des niveaux de phosphore.
 - Si on utilise toujours le même type de fertilisant, comme une formulation peu riche en azote et très riche en phosphore et calcium, on risque d'avoir une accumulation de phosphore et calcium.

Après quelques années de culture, les niveaux de phosphore sont souvent très hauts : 1 000 kg/ha et plus en analyse standard. La tomate et les autres cultures en général n'ont pas de besoins élevés en phosphore, donc si on en met trop, il s'accumulera. Avec un pH élevé et des quantités importantes de calcium, il se peut fort bien qu'une bonne partie de ce phosphore soit fixée par le sol sous forme de

phosphate calcique. Ceci étant dit, nous avons observé des serres avec des sols extrêmement riches et déséquilibrés donner quand même de très bons résultats. Cela défie les standards établis... C'est la preuve que le sol s'est développé une capacité d'absorption phénoménale qui est capable de masquer les erreurs que l'on peut faire en cours de route. On a aussi vu des situations de sols plutôt pauvres et des cultures ne montrant pas de signes de carences.

QUELQUES AUTRES IDÉES À EXPLORER

- Le pouvoir suppressif des composts envers diverses maladies est de plus en plus documenté³⁵. C'est une avenue prometteuse à explorer avec les experts en compostage.
- Mieux exploiter l'ensemble du volume de sol des plates-bandes ou des bacs avec des racines bien développées.
- Améliorer et préciser la régie de l'irrigation en plein sol et en bacs.
- Mécaniser les applications d'engrais et de composts. Cela favorisera un meilleur fractionnement des quantités et réduira les coûts de main-d'œuvre associés.
- Récupération et recyclage des eaux de drainage avec méthodes de traitements adaptées (voir la section qui parle de marais filtrant au chapitre 6).
- En cas de graves problèmes, des moyens de désinfecter le sol, comme la biodésinfection avec des plantes et l'utilisation de vapeur.
- Développer des méthodes d'enrichissement en CO₂ adaptées pour le biologique.
- Mieux synchroniser les apports de fertilisants avec les besoins de la tomate qui changent en fonction de son développement et des conditions climatiques.

³⁵ Raviv, M. et J. Heinrich Lieth. 2008. *Soilless Culture; Theory and Practice*. Disease suppression by organic growing media. Pages 490 à 496. Elsevier.

CHAPITRE 9

QUALITÉ ET ANOMALIES PHYSIOLOGIQUES DE LA TOMATE

9.1 OPTIMISER LA QUALITÉ DES FRUITS

Une tomate de qualité, ce n'est pas le fruit du hasard!

Pour évaluer la qualité d'une tomate, on se base en tout premier lieu sur son aspect visuel externe. Par la suite, on va découvrir son aspect visuel interne, sa texture et bien sûr, sans doute le point le plus important, son goût. Une tomate de qualité, c'est le résultat de nombreux facteurs de production. Il est important de prendre conscience que la qualité des fruits ne se joue pas seulement de manière ponctuelle. Au contraire, on doit voir la qualité comme étant une chose que s'élabore petit à petit au cours du développement du fruit. Pour cette raison, lorsque l'on fait face à un défaut de qualité, la recherche des causes doit tenir compte de l'ensemble de la période de développement du fruit. Trop souvent, l'analyse ne se limite qu'à la dernière phase du développement, c'est-à-dire la maturation du fruit.

QUELS SONT LES FACTEURS DE PRODUCTION QUI INFLUENCENT LA QUALITÉ

- La génétique (les cultivars).
- Le climat : lumière, hygrométrie, température et CO₂.
- La gestion de l'arrosage et de la nutrition minérale.
- Les facteurs présentés ci-dessus peuvent servir à expliquer plusieurs problèmes de qualité, comme entre autres, le microfendillement, la nécrose apicale et les points dorés. Mais, il faut introduire la notion de matière sèche des fruits pour couvrir l'ensemble des défauts de qualité.

LE TAUX DE MATIÈRE SÈCHE COMME FACTEUR DÉTERMINANT DE LA QUALITÉ

De nombreuses études ont permis d'établir une corrélation entre la qualité de la tomate et la teneur en matière sèche³⁶. Plusieurs défauts de qualité qui sont associés à des fruits qui ont une faible teneur en matière sèche :

- Manque de fermeté du fruit.
- Chair de texture farineuse.
- Fruit moins savoureux.
- Fruit anguleux avec les cavités loculaires qui sont partiellement remplies (fruits creux).
- Mauvaise tenue du fruit après la récolte et durée de conservation plus courte.

La composition d'une tomate mature découle principalement de la quantité d'assimilats (matière sèche) qui a été reçue et stockée pendant toute la période de développement. Voici quelques chiffres se rapportant à la teneur en matière sèche des fruits :

- En moyenne, une tomate mûre de bonne qualité contient 5 à 7 % de matière sèche et 93 à 95 % d'eau.
- Environ 50 % de la matière sèche est composée de sucres solubles, principalement du glucose et du fructose.
- Un autre 25 % est composé par les acides (organiques et aminés), les minéraux (principalement du potassium, du phosphore, du calcium, du magnésium et de l'azote) et les lipides.
- Les autres composantes sont les protéines, la pectine, la cellulose et l'hémicellulose.

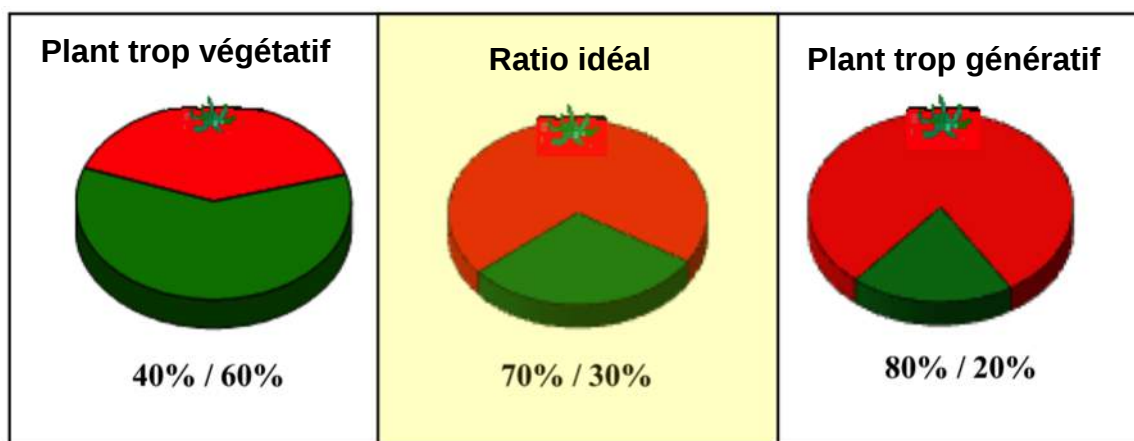
Il y a plusieurs facteurs agronomiques et environnementaux qui contribuent à réduire le taux en matière sèche des fruits, voici les principaux :

- Le premier facteur à considérer est le manque d'ensoleillement.
- Directement associé avec le manque de lumière, on doit examiner la densité et la charge en fruits. Un trop grand nombre de fruits par m² augmente la compétition entre les fruits pour les assimilats.

³⁶ Dorais, M. 2001. Qualité de la tomate de serre. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 77 p.
Grasselly, D. Navez, B. et M. Letard. 2000. Tomate, pour un produit de qualité. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 222 p.

- Une T° 24 h trop élevée en fonction de l'ensoleillement. Cette situation entraîne aussi la perte de la vigueur du plant.
- Un plant qui est trop végétatif.
- Une teneur en CO₂ qui n'est pas assez élevée en fonction des conditions de culture et de climat de la serre.
- Une mauvaise régie de l'arrosage couplée avec un climat de serre humide. Ces conditions favorisent un flux important de l'eau vers les fruits. Au même niveau, une faible conductivité électrique de la solution nutritive est à considérer.
- Une fertilisation trop riche en azote, surtout lorsque la sommation du rayonnement solaire est faible. L'effet de l'azote peut être accentué lorsque la concentration du potassium est faible.

Le contrôle de la distribution de la matière sèche entre les organes végétatifs et les fruits constitue le premier pas vers l'élaboration de la qualité des tomates. Si l'on prend la teneur totale en matière sèche d'un plant de tomate, la proportion qui se retrouve dans les fruits peut varier de 40 % à 80 %. Ceci représente une variation énorme. Le ratio en matière sèche des fruits sur les organes végétatifs (tige, feuilles et racines) qui maximise le transfert des assimilats vers les fruits est de 70 %/30 %.



Premièrement, une bonne allocation de la matière sèche (assimilats) vers les fruits dépend d'une bonne maîtrise de l'équilibre génératif/végétatif. Deuxièmement, le contrôle de la vigueur des plants est primordial pour maintenir un fort taux de production d'assimilats (photosynthèse) pendant l'été, alors que la charge en fruits atteint un sommet.

Maintenir la qualité des fruits jusqu'à la dernière récolte

En fin de saison, plusieurs conditions (faible luminosité, peu d'aération des serres, plants étêtés, plants peu actifs, etc.) sont présentes et les risques de maturation inégale, de fentes de croissance, de points dorés et de microfendillement sont élevés. Pour maintenir la qualité des fruits jusqu'à la fin, il y a plusieurs facteurs à considérer. Voici une liste de facteurs qui peuvent affecter la qualité en fin de culture :

- Facteurs culturaux :
 - Conserver trop de feuilles par plant.
 - Laisser repousser plusieurs drageons par plant.
- Facteurs climatiques :
 - Les grandes amplitudes thermiques entre le jour et la nuit.
 - Les fortes variations d'humidité : alternance de nuages (plus humide) et de soleil (temps sec).
 - La condensation sur les fruits en début de journée.
 - Les longues périodes de temps où l'humidité relative est élevée, ce qui empêche les plantes de transpirer normalement.
 - Une T° 24 h trop basse, ce qui cause un développement trop lent des fruits.
- Facteurs reliés à l'irrigation :
 - Les excès d'irrigation.
 - Commencer les arrosages trop tôt, ou terminer trop tard.
 - Une CE trop faible, ou encore, irriguer de façon saccadée, créant ainsi des baisses ou des remontées soudaines de CE.
 - Manque de potassium.
 - Excès de calcium.

Facteurs qui favorisent le grossissement des fruits en fin de culture

- La quantité de lumière : Ce facteur est limitant en automne, l'ajustement de la conduite de culture est essentiel.
- La température : La T° 24 h affecte la vitesse de maturation des fruits. Plus elle est basse, plus le temps de maturation est long et plus le calibre est gros. Cependant, il y a une limite à ne pas dépasser. Normalement, il n'est pas nécessaire de descendre en bas de 17 °C. La technique de la prénuite est recommandée seulement dans le cas où la qualité des fruits est bien contrôlée. S'il y a des problèmes de fentes de croissance et de microfendillement, c'est une technique à éviter.
- L'équilibre feuilles/fruits : 5-6 feuilles par plant c'est amplement suffisant après l'étêtage des plants. Les fruits doivent être exposés à la lumière. Un excès de feuilles va affecter à la baisse le calibre des fruits.
- L'enrichissement en CO_2 : L'effet du CO_2 est remarquable : « 1 g de CO_2 qui est absorbé par un plant donne 8 g de plus en fruit ». L'enrichissement se fait lorsque les plantes sont actives. Le dosage se fait en fonction de l'ensoleillement et du nombre de fruits par plant : 500 à 800 ppm, selon l'ensoleillement. Éviter les excès, car la qualité des fruits pourrait être affectée.
- L'apport en minéraux : Utiliser une solution nutritive plus riche en potassium.
- L'apport en eau : Ne pas trop assécher le substrat de culture pour créer un « stress » aux plantes. Optez plutôt pour une augmentation de la CE à l'apport et maintenez une stratégie d'irrigation normale. Le passage soudain d'un état de sécheresse à une trop grande disponibilité en eau est responsable de plusieurs défauts de qualité.

Améliorer le calibre des fruits

Afin de répondre à la demande du marché, plusieurs producteurs ont comme objectif un calibre de fruits au-dessus de 220 g pour la tomate charnue et au-dessus de 140 g pour la tomate en grappe. Le calibre c'est avant tout une question d'équilibre entre le végétatif et le reproductif. Le calibre débute avec la fabrication de plants reproductif et vigoureux. Avant que la fleur ne soit pleinement épanouie se déroule la phase de la division cellulaire de l'ovaire. Le nombre de cellules qui vont se former pendant cette phase déterminera la capacité de grossissement du fruit. Plus un plant sera reproductif, plus il y aura de cellules fabriquées et plus le fruit pourra devenir gros.



Pendant la nouaison, plus il y aura d'ovules fécondés par le pollen et plus le fruit grossira facilement. La pollinisation et la qualité du pollen sont très importantes. La phase de grossissement des fruits débute après la nouaison et c'est pendant cette phase que les fruits reçoivent une partie importante des assimilats. Cette période dure de 30 à 35 jours. Plusieurs facteurs jouent un rôle important sur le transfert des assimilats vers les fruits :

- L'équilibre des plants. Les sucres se dirigent plus naturellement vers les fruits lorsque les plants sont reproductifs.
- Une bonne vigueur. La quantité de sucres disponibles pour les fruits est plus grande sur un plant vigoureux.
- La quantité de fruits par plant. Pour une variété charnue, qu'elle soit rouge ou rose, pendant la période de la saison de production où la SRG est importante, soit de mars à août, la charge en fruits doit être entre 55 à 65 fruits/m². Pour la tomate grappe, la charge en fruits doit être entre 75 à 90 fruits/m². Si la charge est trop faible, les plants vont s'ajuster et la productivité sera moindre et le calibre aussi.
- La quantité de lumière et de CO₂.
- L'apport en minéraux, principalement le potassium.
- L'apport en eau. La conduite de l'irrigation et de la conductivité électrique.

La T° 24 h est aussi un paramètre climatique à considérer, car plus cette température est élevée et plus le délai entre la nouaison et la récolte est court. Une T° 24 h trop élevée avec des plants dont la

vigueur n'est pas optimale fait en sorte que la phase de grossissement du fruit est plus courte, ce qui donne des fruits de plus petite taille. La taille des bouquets permet aussi d'agir sur le calibre. Pour les tomates de types charnus et en grappe, l'optimum est respectivement de 3-4 fruits/grappe et 4-5 fruits/grappe. Une densité de plants plus basse permet aussi d'accroître le calibre. Par exemple, de conserver une densité de 2,8 plants/m² en été au lieu de 3,2 permet d'obtenir un gain de calibre, à condition bien sûr que la culture soit bien équilibrée. Une conduite climatique en mode reproductif est aussi un moyen efficace pour obtenir des fruits plus gros :

- Faire une période de prénuît.
- Débuter la journée avec une température fraîche comme 16-17 °C.
- Avoir un grand écart entre les T° Jour/Nuit.
- Avoir une consigne de ventilation très près de la consigne de chauffage.
- Chauffer et ventiler beaucoup.

9.2 LES DÉFAUTS DE QUALITÉ LES PLUS COURANTS EN SERRE

Nécrose apicale



LES CAUSES

Cette maladie physiologique est causée par un manque de Ca dans les cellules distales des jeunes fruits juste au début la phase de croissance rapide. La période de sensibilité à la nécrose apicale commence dès la nouaison des fruits et s'étire jusqu'à ce que le diamètre du fruit dépasse 2,5 cm. Ce défaut est principalement provoqué par deux phénomènes :

- Mauvaise absorption du Ca par les racines.
- Transfert insuffisant du Ca vers les fruits.

LE CALCIUM ET LA PLANTE

Le Ca est assimilé de façon passive par les racines en même temps que l'eau. Il se déplace dans la plante exclusivement par les vaisseaux du xylème. L'évapotranspiration a une très grande influence sur la distribution du Ca dans les feuilles et dans les fruits. En période de forte transpiration le Ca se dirige principalement vers les feuilles, c'est alors que les fruits peuvent en recevoir insuffisamment. La pression racinaire joue aussi un rôle dans le transport du Ca. Lorsque la pression racinaire s'exerce, c'est-à-dire au tout début de la journée, le Ca est alors dirigé principalement vers les fruits.

La multiplication cellulaire est très rapide dans les jeunes fruits et leur capacité d'importer du Ca est limitée. De plus, si la croissance des jeunes fruits est trop rapide, le développement du xylème peut être insuffisant et le transport du Ca n'est plus possible vers l'apex du fruit. 50 % de tout le Ca est absorbé par la coiffe, c'est-à-dire par l'extrémité (~ 3 cm) des jeunes racines. Certains ions interfèrent dans l'absorption du Ca, principalement le K (potassium) et le NH_4 (ammonium), mais aussi le Mg (magnésium) et le Na (sodium). À l'opposé, certains autres ions sont favorables à l'absorption du Ca : P (phosphore), Cl (chlorures) et B (bore). Les variétés à gros fruits de type « Beef » sont plus sensibles.

MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES

- Éviter de conduire le climat en dents de scie; très sec le jour et très humide la nuit. Maintenir le déficit hydrique dans la zone de confort de la tomate qui se situe entre 3 et 7 g/m³. Réduire le plus possible la durée des périodes de temps où le déficit hydrique dépasse 8 g/m³ d'air et éviter les stress hydriques (plants fanés).
- Garder un bon équilibre fruit/feuille en fonction de la saison. Lorsque l'ensoleillement est fort, une charge en fruits trop faible entraîne une croissance des fruits trop rapide.
- Irriguer en ajustant la CE en fonction du rayonnement solaire. Garder le pH du substrat > 5,5. La disponibilité du Ca est fortement diminuée lorsque le pH passe en dessous de 5,2.
- Maintenir une bonne vigueur pour que la croissance des nouvelles racines soit continue.

- Utiliser une solution nutritive « extra Ca » avec 6 mmol/l. La valeur cible dans le substrat est entre 8 et 9 mmol/l pour une CE de référence de 3,7 mS/cm. La valeur cible pour le K ne doit pas dépasser 8,0 mmol/L. Pour augmenter la quantité du Ca, il est préférable de le faire avec du chlorure de calcium.
- Dans la solution nutritive, réduire la concentration de NH_4 .
- Dans le substrat de culture, augmenter les valeurs cibles du P et du B de culture de 15 %.
- Réduire ou même cesser l'enrichissement en CO_2 .
- Lorsque la nécrose apicale est présente et en progression, la pulvérisation des jeunes fruits est la meilleure façon d'agir. Cette anomalie reste irréversible, mais cette action va au moins sauver les prochains fruits. On utilise généralement du chlorure de calcium, mais attention aux brûlures foliaires. D'autres produits contenant du calcium sont aussi recommandés et les risques de brûlures foliaires sont moindres. C'est acceptable de passer au moins une fois par semaine, mais l'idéal c'est deux fois par semaine.

Maturation inégale

On parle de maturation inégale, de mûrissement inégal ou encore de tache immature lorsque le mûrissement des fruits ne se fait pas uniformément et que des plages jaunes ou vertes se démarquent au travers de la coloration rouge du fruit. Ces plaques jaunes ou vertes peuvent disparaître lorsque le fruit est complètement mûr, mais elles peuvent aussi persister et demeurer bien visibles même sur un fruit parfaitement mûr. Dans ce dernier cas, une coupe transversale du fruit nous permet d'observer des vaisseaux qui sont noirs dans le péricarpe du fruit. Les défauts de mûrissement se présentent sous 2 formes :

- **Modérée** : lorsque la zone décolorée disparaît quand le fruit atteint sa pleine maturité.



- **Sévère** : lorsque la zone décolorée reste bien visible quand le fruit atteint sa pleine maturité. Cette forme est communément appelée « blotchy ».



LES CAUSES

En premier lieu, la maturation inégale est reliée à un manque de potassium au niveau du fruit, et à un degré moindre, à un manque de bore. Ce désordre physiologique est généralement relié à un manque de potassium dans la solution nutritive à l'apport, ou à un effet indirect causé par une concentration trop grande des cations antagonistes comme le calcium, le magnésium ou l'azote sous forme d'ammonium (NH_4^+). Ce désordre peut aussi être causé par une forte compétition entre les fruits lorsque les plants sont fortement chargés et que les conditions d'ensoleillement sont mauvaises.

Lorsque la maturation inégale devient sévère, on parle d'un défaut de qualité qui est plus complexe. La véritable cause de l'apparition de la forme sévère n'est pas toujours facile à identifier, car ce problème survient même lorsque la nutrition en potassium est correcte. Il y a plusieurs facteurs à analyser afin de trouver la ou les causes :

- Certains cultivars sont plus sensibles.
- Un climat frais, pas assez dynamique et où les plants transpirent peu. Dans ce genre de situation, la pression exercée par l'eau à l'intérieur de la tige est grande et la translocation du potassium vers les fruits est réduite.
- Une température de mûrissement des fruits qui est trop froide, surtout le matin, parce que la relance du chauffage ne se fait pas.
- Des plants trop végétatifs.
- Une en charge en fruits par plante trop grande, avec des fruits de fort calibre, associé avec une période de lumière insuffisante.
- Des conditions de faible luminosité.

- Une période de prénuits trop froide, ce qui favorise le grossissement rapide des fruits.
- Une vitesse de nouaison lente (0,5 grappe/semaine) et un long délai entre la nouaison et la récolte (9 à 10 semaines).

MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES

Lorsque le mûrissement inégal est modéré, une correction au niveau de la nutrition en potassium règle le problème. Quand la charge en fruits est forte et que les conditions climatiques sont difficiles, l'utilisation d'une CE plus élevée et d'une concentration élevée en potassium dans la solution nutritive permet bien souvent d'éviter ce problème.

Dans le cas de la forme sévère, il y a plusieurs autres aspects à considérer :

- Garder les plants actifs et les faire transpirer.
- Ne pas irriguer trop tôt le matin, attendre que la transpiration soit activée.
- Garder les plants génératifs.
- Bâtir la charge en fruits en fonction de la lumière.
- Attention à l'utilisation des prénuits sur une longue période.
- Garder la vitesse de nouaison supérieure à 0,8 grappe/semaine.
- Faire une bonne relance de chauffage le matin afin de bien réchauffer les fruits.

Microfendillement, microfissures ou « russeting »



Ce désordre est bien connu par tous les producteurs de tomates. Il se caractérise par un fendillement très fin de l'épiderme du fruit. Les lésions de la cuticule sont généralement inférieures à 1 mm. Lorsque ces microfissures sont abondantes, les fruits ont une apparence beaucoup moins lustrée. En plus de pénaliser la qualité commerciale des fruits, il réduit la durée de conservation et procure une porte d'entrée pour les agents pathogènes.

LES CAUSES

Selon la période du jour, les fruits se déchargent et se rechargent d'eau. Le jour, les fruits perdent de l'eau de deux façons. Premièrement, les fruits perdent de l'eau par évapotranspiration. Deuxièmement, lorsque toute la plante transpire, les fruits transfèrent de l'eau vers les feuilles. Le transfert commence lorsque la plante se met à transpirer assez fortement et se poursuit jusqu'à un certain point de rétrécissement maximal du fruit. La nuit, c'est l'inverse qui se produit, la plante retourne l'eau vers ses fruits, et ce, jusqu'à un certain point d'expansion maximale. Ce phénomène serait quotidien et le point de rétrécissement maximal arriverait vers 15 h et le point d'expansion maximale vers 8 h. L'élasticité naturelle de la cuticule permet de tolérer ces changements de volume, mais jusqu'à une certaine limite. Le fendillement se produit lorsque l'épiderme ne peut plus résister à la pression interne de l'eau dans le fruit, soit à la suite de variations extrêmes et continues de la pression interne du fruit, ou d'un affaiblissement de la résistance de la cuticule. Lorsque le problème s'intensifie, les lésions de la peau deviennent plus importantes en taille et leur cicatrisation entraîne la formation de tissus liégeux (photo ci-contre).

Les fruits sont sensibles au microfendillement à partir de la 3^e semaine avant la récolte, ce qui correspond à la dernière phase de croissance des fruits où la croissance est plus lente.

Plusieurs facteurs sont impliqués dans l'apparition de ce désordre physiologique, de plus ils peuvent interagir entre eux. Tout ceci en fait un problème complexe et difficile à prévenir. Il y a une constante, c'est que cette anomalie est toujours causée par un ou des paramètres qui contraignent le mouvement de va-et-vient de l'eau dans les fruits.



FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE MICROFENDILLEMENT

- Humidité trop élevée, principalement la nuit et au début de la journée. Au-delà de 90 %, le taux de transpiration de la plante est pratiquement nul. La pression racinaire est maximale. Lorsque la pression racinaire est forte, la poussée de l'eau dans le fruit l'est aussi.
- L'exposition des fruits aux rayons directs du soleil. La pression interne du fruit s'accroît à la suite de l'échauffement de ses tissus causé par le rayonnement solaire. Les fruits qui ont été exposés à un soleil direct et intense sont aussi plus sensibles au microfendillement, car cette exposition a réduit l'élasticité de la cuticule.
- Température élevée associée à une forte intensité lumineuse. Les fortes amplitudes thermiques entre le jour et la nuit.
- Les fortes variations d'humidité : alternance de nuages (plus humide) et de soleil (temps sec). La condensation sur les fruits en début de journée.
- Une T° 24 h trop basse, ce qui induit un développement trop lent des fruits.
- Commencer les arrosages trop tôt le matin, avant que les plantes soient actives, fait augmenter la pression racinaire. Irriguer trop tard. Arrosage irrégulier en plein sol et en hors-sol. Irriguer de façon saccadée, créant ainsi des baisses ou des remontées soudaines de CE. Potentiel osmotique autour des racines devrait rester constant pour éviter une prise d'eau abondante et trop brusque.

- Croissance rapide ou erratique des fruits. Faible charge en fruits. Production cyclique. Forte période de récolte suivie par une période de creux.

Fendillement

Le fendillement ou les fentes de croissance se distinguent du microfendillement par la taille des blessures sur les fruits. Les fentes sont très apparentes et dépassent facilement 1 cm de longueur. Des fentes circulaires peuvent se former autour du collet, ou encore, des fentes radiales ou longitudinales peuvent partir de la cicatrice pédonculaire.



LES CAUSES

Le fendillement est causé par un flux d'eau très important qui est dirigé vers les fruits. Une montée d'eau soudaine provoque une forte pression à l'intérieur de la tomate ce qui cause l'éclatement de la partie externe du péricarpe et de l'épiderme. Ce mouvement d'eau vers les fruits est lié à une forte augmentation de la poussée racinaire. Cette augmentation peut être le résultat d'une variation brusque au niveau de l'irrigation ou du climat. Les plants étêtés sont plus sensibles à ce problème.

FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE FENDILLEMENT

- Une différence de température entre la plante (froide) et le substrat (chaud) favorise beaucoup l'apparition de ce problème.
- Une descente forte et soudaine de la CE au niveau des racines.
- Une montée rapide et soudaine de l'hygrométrie de la serre par temps chaud.

- Arroser tôt en début de journée ou tard en fin de journée avec une CE faible.
- Les fruits exposés au soleil sont plus sensibles.
- Les fruits qui se développent lentement sont plus sensibles.

MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES

- Éviter tout ce qui fait augmenter la pression racinaire. Gestion de l'hygrométrie entre 3 et 7 g/m³.
- Après étêtage, ne pas conserver trop de feuilles par plant.
- Conduire les arrosages de façon uniforme en favorisant le développement des racines. Pas d'arrosage tôt le matin. Éviter les CE élevées dans le substrat ou les fluctuations incontrôlées de CE.
- Garder un rythme de récolte continu avec une bonne T° 24 h.

Points dorés



Ce défaut de qualité se caractérise par la présence de petits points dorés visibles à l'œil nu. Généralement, les points dorés se retrouvent en plus grande quantité près du calice (sépal) comparativement à la partie distale du fruit. Ces points sont dus à la formation de cristaux d'oxalate de calcium. Ces cristaux « blessent » les tissus, ce qui réduit la durée de conservation et affecte négativement la texture (plus farineuse) et le goût.

LES CAUSES

Tous les facteurs qui favorisent une meilleure absorption du calcium par les fruits peuvent causer cette anomalie physiologique. Ce n'est pas un problème qui est facile à cerner, car plusieurs facteurs peuvent être impliqués. La conduite climatique, l'arrosage et la fertilisation peuvent agir seul ou ensemble pour causer les points dorés. De plus, le calcium est à la base un élément essentiel dans l'élaboration de la qualité des fruits, on n'a qu'à penser à la nécrose apicale, mais ce n'est que la migration excessive qui s'avère être problématique. Donc, même si le calcium est l'agent causal, la formation d'oxalate de calcium est rarement un problème directement relié à un excès de calcium à l'apport. Dans la majorité des cas, ce défaut de qualité résulte d'un déséquilibre au niveau de l'absorption du calcium.

FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE POINTS DORÉS

- Facteurs reliés à la conduite climatique :
 - Un faible taux de transpiration résultant de conditions lumineuses faible.
 - Une forte hygrométrie (85 % et plus) pendant certaines périodes de la journée, comme la nuit et en début de journée. En fait, tous les facteurs climatiques qui sont propices à une forte pression racinaire peuvent causer ce défaut de qualité.
 - Un grand écart entre le taux d'humidité de jour (bas) et le taux d'humidité de nuit (élevé).
 - Une T° 24 h trop basse associée à un excès de vigueur.
 - Des fruits qui sont trop exposés au rayonnement solaire ou au système de distribution de la chaleur. Cette situation entraîne une forte transpiration des fruits comparativement à l'ensemble de la plante.
- Facteurs reliés à la conduite de l'irrigation :
 - Arroser en trop grande quantité, ou encore, débiter les arrosages trop tôt ou arrêter trop tard. Les excès d'arrosage sont particulièrement nocifs si le temps est sombre.
 - Excès de calcium dans la solution nutritive ou dans le substrat de culture.
 - Déséquilibre entre la concentration du potassium (faible) et la concentration du calcium (élevée) dans la solution nutritive ou dans le substrat de culture.
 - Excès d'azote (nitrates) dans la solution nutritive ou dans le substrat de culture.

- Excès des ions qui favorisent l'assimilation du calcium comme le phosphore, le chlore et le bore.
- Maintenir une CE trop basse au gouteur ou dans le substrat de culture.
- Un grand écart (1,5 mS/cm et plus) entre la CE au gouteur et celle de substrat.

Fruits angulaires ou « carrés »

Cette malformation se caractérise par un fruit de forme plus carré que la normale. Au lieu d'être bombée, la zone externe des cavités loculaires est plate ou même concave. Les cavités loculaires du fruit peuvent être pleines ou creuses selon l'intensité du problème. Ces fruits peuvent contenir beaucoup de graines si la nouaison a été bonne, mais le plus souvent ils contiennent très peu de graines. Lorsque les fruits sont creux, on peut observer que le gel qui contient les graines ne remplit pas les locules, laissant un espace vide près du péricarpe. La texture de ces fruits est généralement plus farineuse.



LES CAUSES

Cette anomalie physiologique est essentiellement le résultat d'une mauvaise floraison qui est causée par des conditions climatiques non optimales ou des plants trop végétatifs. La fabrication de pollen de mauvaise qualité occasionne une nouaison difficile. Ce sont aussi des fruits qui ont un taux en matière sèche qui est plus bas que la normale. Lors de la phase de croissance rapide, ces fruits n'ont pas reçu suffisamment d'assimilats, c'est-à-dire de sucres produits lors de la photosynthèse

FACTEURS QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE FRUITS ANGULAIRES

- Ce défaut est beaucoup plus fréquent sur les variétés vigoureuses et végétatives de types charnus, et encore plus sur les variétés de couleur rose.
- Conduite du climat et de l'irrigation trop végétative.
- Longue période de faible luminosité et de manque d'activité des plantes, ce qui est favorable à une forte pression racinaire.
- T° 24 h trop élevée pendant une longue période où la luminosité était basse. Une T° air élevée stimule la croissance des fruits, mais si les sucres ne sont pas disponibles en assez grande quantité à cause d'un manque de lumière (faible taux de photosynthèse), les fruits ne pourront pas se remplir.
- La fertilisation en potassium joue aussi un rôle dans l'incidence de ce désordre physiologique, surtout vu sous l'aspect d'une trop forte concentration de l'azote et du phosphore.

MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES

- Conduire la culture en mode reproductif et maintenir une bonne vigueur (11 à 12 mm de tige).
- En période de faible luminosité, réagir rapidement en baissant la T° 24 h tout en conservant la culture active.
- Éviter les conditions de forte hygrométrie qui pourraient durer plusieurs jours. C'est nécessaire de maintenir les plants actifs à tous les jours par une bonne gestion du chauffage et de la ventilation.
- Bâter la charge en fruits en fonction de la lumière à venir par une taille adéquate des grappes. Une surcharge en fruits amène une compétition entre les fruits pour les assimilats.
- Ajuster la fertilisation potassique en fonction de la charge en fruits et éviter les excès en azote et en phosphore.
- En début de culture, maintenir une CE élevée dans le substrat, entre 4,5 et 5,5 mS/cm.

Fruits « pointus »



Ces fruits sont de forme conique et allongée, avec la partie distale en pointe. Cette malformation résulte de la croissance inégale des locules internes du fruit ou de l'élongation de la zone de la cicatrice stylaire. Il y a deux types de fruits pointus :

- Les fruits coniques comme sur la photo de gauche.
- Les fruits qui sont assez ronds, mais dont la zone de la cicatrice stylaire forme une pointe.

LES CAUSES

Les fruits coniques sont le résultat d'une mauvaise nouaison, donc tous les facteurs qui affectent cette phase peuvent contribuer à ce problème. Les fruits avec la zone distale en forme de pointe sont causés par les fleurs fanées (pétales, style et étamines) qui restent attachées trop longtemps sur la pointe de l'ovaire. Ce phénomène s'observe surtout lorsque l'humidité relative est trop élevée. Dans les deux cas, l'incidence de fruits pointus est beaucoup plus importante sur des plants qui sont trop végétatifs et qui manquent de vigueur. Une température de nuit trop froide c'est-à-dire de l'ordre de 12 °C est favorable à ce problème. Finalement, certaines variétés sont plus sensibles.

MESURES PRÉVENTIVES ET CORRECTIVES

La première mesure préventive c'est conduire la culture pour toujours avoir des plants vigoureux et génératifs. Au niveau de la température, il est important d'éviter que la température minimale de la serre soit sous 12 °C, même pendant la phase de prénuît. Le maintien de l'hygrométrie dans la zone optimale, soit entre 60 et 80 %, est aussi fort important pour favoriser une bonne mise à fleur et fruit.

Autres anomalies physiologiques qui réduisent la qualité de la tomate

INSOLATION OU COUP DE SOLEIL

En été et en fin de saison, il arrive que le feuillage ne cache plus suffisamment les fruits dans le haut de la plante. Les parties directement exposées au soleil vont pratiquement blanchir. Une exposition intense au soleil cause la photo oxydation de certains pigments. La partie d'un fruit exposée aux rayons solaires peut avoir une température de 10 °C plus élevée que celle d'un fruit qui est caché à l'intérieur de la canopée végétale. Pour prévenir ce défaut lorsque la surface foliaire est insuffisante dans la tête



des plants, c'est nécessaire de conserver des feuilles sur les drageons (tiges axillaires) de façon à couvrir les fruits. On appelle communément cet ajustement de la surface foliaire de drageon « parapluie ». En fin de saison, il est bon de laisser 2-3 feuilles au-dessus de la dernière grappe lors de l'arrêt de la croissance (étêtage), surtout si cette opération se fait au tout début de l'automne.

TACHES BRUNES



Ce type de taches est généralement causé par la condensation sur les fruits. Si le phénomène de condensation est fréquent et intense, la formation de petites taches brunes sur les fruits sera aussi plus importante. Les taches se forment principalement là où l'eau reste en place le plus longtemps, soit la face supérieure du fruit. Généralement, on peut les voir autour du pédoncule et sur les épaules.

Le seul moyen d'éviter ce problème c'est par la prévention de la condensation :

- Contrôler le taux d'humidité élevé dans la serre, surtout en début de journée.
- Relancer le chauffage de la serre tous les matins pour éviter la condensation.

- Maintenir un minimum de chauffage dans les tuyaux lorsque le temps est nuageux et pluvieux.
- Ne pas conserver trop de feuilles dans le bas des plants.

FRUITS QUI RAMOLLISSENT RAPIDEMENT APRÈS LA RÉCOLTE

Au tout début de l'automne, il est fréquent d'observer un lot anormalement élevé de tomates de moins bonne qualité. Certains défauts de qualité sont directement observables sur les plants, mais certains autres se développent en période postrécolte et c'est de ces derniers qu'il est question dans ce qui suit.

Les symptômes que l'on observe débutent après la récolte. La durée de conservation des tomates est plus courte que la normale. Les fruits ramollissent plus rapidement pendant l'entreposage. C'est souvent accompagné d'un affaissement localisé du péricarpe qui forme de petites dépressions, souvent au niveau du collet. Il y a aussi de petites taches brunâtres qui apparaissent progressivement sur les fruits.



Les causes possibles de cette anomalie commencent par la présence de microfendillement sur l'épiderme de ces fruits. La présence de points dorés est aussi fréquente. Les taches qui apparaissent après la récolte sont généralement causées par *Alternaria* qui agit comme pathogène opportuniste.

Qu'elles soient grosses ou petites, les tomates contiennent approximativement la même quantité de matière sèche. Ce phénomène est donc au désavantage des variétés qui ont des fruits de gros calibre, comme les types charnus et en grappe. Nous avons vu précédemment

dans ce chapitre ce qui peut affecter le contenu en matière sèche des fruits. Les fruits qui sont plus gorgés d'eau sont aussi plus sensibles à ce type de défaut. Un autre aspect à considérer est la présence du microfendillement et de points dorés. La présence de microfissures sur la peau des tomates crée une porte d'entrée pour les pathogènes. De plus, il est bien connu que les points dorés altèrent la fermeté et la durée de conservation des fruits.

Ce genre de problème n'est pas soudain, mais c'est plutôt un événement qui s'est construit tout au long du développement des fruits. Il n'y a donc pas de solution instantanée. Il est souvent nécessaire de regarder en arrière les conditions climatiques qui ont pu jouer sur la plus faible quantité d'assimilats reçus par les fruits. Lorsque l'on fait face à ce genre de problème, le fait de récolter les fruits à un stade de maturité moins avancé pourrait peut-être aider à protéger les fruits d'un ramollissement trop rapide. Dès que les fruits ont atteint leur pleine maturité, la qualité se met à diminuer, même s'ils restent attachés à la plante. Le seul moyen de stopper le processus, c'est de réduire la température du fruit, donc de le récolter et de le placer au frigo. Pour limiter l'infection par *Alternaria*, c'est important d'éviter le mouillage des fruits (condensation), autant dans la serre avant la récolte que lors de l'entreposage.

Fruits immatures qui tombent



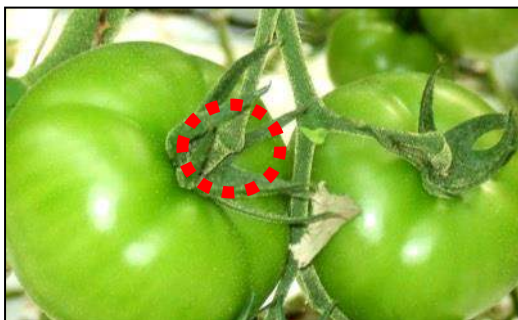
Il arrive que les tomates se détachent toutes seules du plant sans qu'on ne les touche. Ce n'est pas vraiment un phénomène extraordinaire de voir quelques fruits par terre dans une serre où il y a plusieurs milliers de plants. Mais dans certaines conditions, la chute des fruits peut devenir un véritable problème, lorsque ça se généralise et que ça dure plusieurs jours, voir quelques semaines. On parle ici

de fruits qui tombent avant même d'avoir tourné au rouge. Bien souvent ça se passe de 5 à 10 jours avant la pleine maturité. Bien évidemment, cette situation est très frustrante puisque ces tomates avaient pratiquement « consommé » toute l'énergie nécessaire à leur développement, mais comme elles se détachent du plant avant la maturité optimale, la perte de qualité est majeure. On peut toujours ramasser ces fruits et les laisser mûrir à côté du plant, mais il y aura inévitablement une perte au niveau de la texture et bien sûr, une perte de saveur. En fin de compte, c'est une perte économique pour le producteur.

Ce problème se produit en début de saison et affecte principalement la première grappe, mais il peut se prolonger jusqu'à la troisième grappe. Ce n'est pas un nouveau problème, mais il reste que ce n'est pas facile de trouver de l'information technique ou scientifique sur ce sujet. Le texte qui suit a été préparé grâce à la généreuse collaboration de madame Martine Dorais, PhD., Agriculture et Agroalimentaire Canada, Chercheure et professeure associée, Université Laval.

QU'EST-CE QUI EXPLIQUE LA CHUTE DE FRUITS

- Le premier facteur à considérer, c'est le type de fruit. Les tomates charnues de gros calibre sont plus susceptibles que les autres types. On peut aussi avoir ce problème avec d'autres types, mais c'est moins fréquent. Deuxièmement, pour un type donné, il y a des variétés qui sont beaucoup plus sensibles que les autres.
- Il semblerait que ce qui cause la chute de fruits immatures serait relié à un déséquilibre entre deux hormones végétales, ou phytohormones³⁷, la cytokinine et l'acide abscissique.



³⁷ Les phytohormones sont des molécules organiques produites par les plantes et elles agissent à des doses infimes. La croissance et le développement des plantes sont soumis à l'action des phytohormones. Les cytokinines ont plusieurs fonctions, mais elles peuvent en outre retarder la sénescence (vieillesse) des cellules en retardant la dégradation des protéines. D'un autre côté, l'une des propriétés chimiques de l'acide abscissique c'est d'induire la sénescence des cellules.

- La cytokinine (CK) contribuerait à retenir les fruits sur la grappe, alors qu'à l'opposé l'acide abscissique (ABA) stimulerait l'activité de la zone d'abscision (petit renflement sur le pédoncule) des fruits. Une trop forte concentration d'acide abscissique par rapport à la cytokinine provoquerait la chute des fruits, même s'ils n'ont pas atteint leur pleine maturité physiologique.
- Un manque de potassium et de phosphore au niveau du fruit serait à la base du déséquilibre CK/ABA, car ces deux éléments minéraux jouent un rôle très important dans la synthèse et le transport de la cytokinine.
- L'état de santé des racines est un autre facteur qui affecte le rapport CK/ABA. Le principal site de synthèse de la cytokinine est l'apex des jeunes racines. De plus, la cytokinine est transportée des racines vers les fruits à travers les vaisseaux du xylème en suivant le flux de la transpiration.

CONDITIONS CULTURALES POUVANT CAUSER LA CHUTE DES TOMATES

- Comme c'est souvent le cas, l'équilibre génératif/végétatif est l'un des facteurs de risque. Des plants qui sont trop végétatifs en début de culture présentent plus souvent ce genre de problème. Un excès de végétation pour l'étape de formation du 1^{er} au 4^e bouquet entraîne souvent un important déséquilibre au moment de la première récolte. Les plants sont fortement chargés sur les quatre premières grappes et les racines sont faibles.
- Lorsque la charge en fruits est très grande et qu'il y a une forte compétition entre les fruits pour le potassium et le phosphore. Cette situation pourrait s'aggraver si la concentration du potassium et du phosphore est mal ajustée en fonction des besoins des plants. En pratique, ça peut se traduire par une conductivité électrique trop basse par rapport à la demande des plants qui ont beaucoup de fruits à alimenter.
- Une mauvaise gestion de l'hygrométrie et de l'irrigation peut aussi jouer dans ce phénomène. Une serre trop humide restreint la transpiration des plants, donc le déplacement de l'eau dans les vaisseaux du xylème. Une gestion inadéquate de l'irrigation est généralement la principale cause de la mauvaise santé des racines. Dans ces deux cas, il pourrait y avoir un effet négatif sur la synthèse et le transport de la cytokinine.

- Un affaiblissement des racines sur un plant portant plusieurs fruits suite à une baisse imprévue de la lumière est aussi un facteur de risque. Cette situation est fréquente et elle peut être aggravée si le producteur n'a pas réagi rapidement en appliquant une baisse de la T° 24 h.
- Finalement, la chute des fruits peut aussi être la conséquence d'une descente de plants mal faite. Soit que cette opération ait été faite trop brusquement ou que la descente ait été trop grande (travail en retard).

Jaunissement du calice

Ce défaut, communément appelé « yellow calyx » se caractérise par le jaunissement du calice et du pédoncule des fruits. On peut observer le symptôme dans la serre quelques jours avant la récolte ou pendant la période d'entreposage. Ce phénomène est observé uniquement dans les serres où l'on récolte les tomates bien mûres. La cause exacte n'a pas encore été identifiée, mais plusieurs éléments semblent favoriser l'apparition du jaunissement, en voici une liste :



- On remarque que certaines variétés de tomate en grappe sont plus sensibles.
- Les bouquets dont la nouaison a été plus difficile sont plus à risques :
 - Conditions climatiques défavorables.
 - Plants qui manquent de vigueur.
 - Bouquet végétatif.
- Un long délai entre la nouaison (10 semaines et plus) et la récolte. Les variétés que l'on récolte en grappe sont beaucoup plus susceptibles d'avoir ce problème, puisque le délai entre la nouaison et la récolte est au moins une semaine de plus que pour les variétés qui sont ramassées en vrac.
- Une forte hygrométrie dans la serre, ou encore une gestion irrégulière de l'humidité.
- Irriguer trop, surtout pendant les périodes où le temps est variable, ce qui est propice à maintenir une pression racinaire élevée dans le plant.

CHAPITRE 10

TRAVAIL EN SERRE

Les coûts de la main-d'œuvre reliés au travail d'entretien des plants de tomate dans les serres rivalisent avec ceux associés à l'énergie. C'est un des coûts les plus élevés dans la production de la tomate de serre. Il y a plusieurs points à considérer quand vient le temps de regarder le travail en serre, particulièrement en ce qui a trait à l'organisation et la formation du personnel. Ce chapitre présente la gestion du travail en serre applicable à tous les types de tomates.

De tous les légumes cultivés en serre, c'est la tomate qui requiert le plus de travail. La production de la tomate de serre nécessite environ 19 % plus d'heures que le concombre et environ 32 % plus d'heures que le poivron. Pour une entreprise de performance moyenne, les besoins de main-d'œuvre se situent généralement entre 1,5 à 2,0 heures par mètre carré durant une année de production. Ça représente environ de 7 à 10 employés dédiés à l'entretien des plants à l'hectare.

10.1 ORGANISATION DU TRAVAIL

Il est important de planifier le besoin en main-d'œuvre sur une période d'une année. En faisant cet exercice, un nombre maximal d'employés à plein temps peut être retenu. Cette planification réduit le besoin de devoir constamment former du personnel. De plus, un nombre adéquat d'employés assure de la stabilité dans la gestion du travail. Il y a assurément des besoins pour de nouveaux employés lors des périodes de productions de pointe et il est fréquent de communiquer aux employés que les besoins en heures supplémentaires seront requis de leur part.

Caractéristiques du travail en serre

Le travail dans les serres est principalement divisé en deux groupes de travailleurs : ceux qui travaillent sur les plantes et ceux qui récoltent. La personne qui travaille sur les plantes est responsable des tâches les plus exigeantes, car son travail est centré sur le soin apporté aux plantes pour qu'elles poussent dans les meilleures conditions. Le travail des récolteurs est priorisé sur la récolte des fruits pour qu'elle soit effectuée avec le plus de précautions possible et aussi vite que possible. Le producteur doit penser à l'organisation physique du travail dans la serre. Certains employés peuvent se faire assigner une zone particulière de la serre où leur travail devra s'exécuter. Aussi s'ils travaillent en

équipe, ces employés peuvent se déplacer ensemble et accomplir les tâches d'une serre à l'autre. Il y a différentes façons d'aborder l'attribution des tâches. Souvent, les employés performants travaillent dans leur propre zone et sont payés pour le travail exécuté. Les employés moins performants vont travailler où le producteur les attire et sont payés sur une base horaire. Les employés qui travaillent dans leurs propres serres peuvent développer un sentiment du travail accompli selon leur façon de travailler les plantes. D'autres employés préfèrent travailler en compagnie d'autres travailleurs. Ils vont travailler mieux de cette façon, car les tâches sont souvent très répétitives et une saine compétition peut s'installer entre eux.

La rémunération devrait être révisée annuellement. C'est au moment de la rencontre annuelle que les ajustements peuvent être effectués. De même, les efforts doivent être reconnus et récompensés immédiatement. Pour les plus jeunes employés, leur rémunération peut être ajustée plusieurs fois par année afin de reconnaître leur effort au travail. Les taux horaires payés aux employés devraient être comparables au secteur. Les meilleurs employés devraient recevoir une meilleure rémunération. La rémunération supérieure peut être octroyée par un meilleur taux horaire ou par un incitatif de performance, ou les deux à la fois. En offrant une rémunération supérieure, la rétention est plus facile et le roulement de personnel est réduit.

Les producteurs mettent beaucoup d'emphasis sur l'atteinte et le maintien des hauts niveaux d'efficacité dans le travail des employés de serre. Les employés performants peuvent être également les employés dont le travail est le plus bâclé. Afin de maintenir la qualité du travail au maximum, le producteur doit établir des standards de qualité à maintenir en plus des standards de performance au travail. Un employé qui travaille vite peut aussi bien briser beaucoup de têtes, laisser des grappes non taillées, oublier des fruits mûrs, etc. L'évaluation de la qualité du travail est à faire sur une base régulière.

La formation des travailleurs en serre se fait généralement sur place. La formation des employés qui travaillent en hauteur et ceux qui travaillent au sol est assurée par un superviseur ou un chef d'équipe ou par le chef de culture. La formation des travailleurs au sol est moins élaborée que celle des travailleurs en hauteur. Une pratique courante est de faire travailler un nouvel employé avec un travailleur expérimenté. L'employé plus expérimenté peut faire atteindre à un nouvel employé la vitesse de travail plus rapidement. Cependant durant la formation, l'employé expérimenté perd de la vitesse et peut réduire le gain associé à l'apprentissage plus rapide du nouvel employé. Après avoir montré les principes et avoir subi une brève période de pratique, la majorité du temps passé à la formation se fait

durant les heures de travail et le travailleur doit atteindre la vitesse requise pour l'exécution des tâches à l'intérieur d'une période de temps établie par l'entreprise.

Le Comité sectoriel de main-d'œuvre de la production agricole (AGRIcarrières) a produit en 2010 un programme d'apprentissage en milieu de travail pour les ouvriers serricoles en production maraîchère. Une fiche d'information, une norme professionnelle ainsi qu'un carnet d'apprentissage pour le travail en serre. Tous ces documents sont disponibles gratuitement sur le site Web d'AGRIcarrières³⁸.

Suivi du travail

La saison de production peut durer toute une année. Elle peut aussi s'échelonner sur seulement six à neuf mois pour ceux qui ne veulent pas produire durant la période hivernale. Peu importe la durée de production, la planification des heures nécessaires à la maintenance et l'entretien des plantes est importante. Lorsque la planification des heures est établie, le producteur organise le travail en estimant le temps requis pour effectuer chaque tâche durant la saison. L'entreprise prévoit l'emploi d'un certain nombre de personnes. Il faut organiser le suivi hebdomadaire des employés par tâche afin de contrôler les budgets reliés aux heures travaillées dans les serres. Le suivi est généralement effectué par le maintien de dossiers qui compilent les heures travaillées des employés et la quantité de travail effectué durant la période hebdomadaire :

- La tenue des dossiers des employés donne des informations précises sur les heures requises pour des tâches spécifiques ce qui permet une planification plus précise dans le futur.
- Les données contenues dans les dossiers permettent d'évaluer le travail des employés, non seulement entre eux, mais entre les entreprises. Ça permet d'identifier les tâches où l'efficacité ou la performance peut être améliorée.
- Les données contenues dans les dossiers des employés permettent de fournir aux employés des cibles de performance pour des tâches spécifiques. Finalement, elles permettent de faire un suivi de l'efficacité des travailleurs. C'est particulièrement utile quand vient le temps d'évaluer annuellement un travailleur ou de guider un nouvel employé vers des standards de performance désirés.

³⁸ <http://www.agricarrieres.qc.ca/pages/Apprentissage.aspx?lang=Fr-Ca>

Il existe sur le marché des logiciels de suivi du travail dans les serres. Dès qu'un employé entre dans une serre pour effectuer une tâche, les performances sont enregistrées. Il faut entrer des données physiques de la serre telles que la quantité de plantes par rang, le nombre de rangs, les noms des employés, etc. Les logiciels sont d'utilisation conviviale et facile à comprendre. Les travailleurs peuvent également écrire leur nom sur une planchette à pince placée à chaque serre. Dès qu'ils sortent d'un rang, ils écrivent le numéro du rang où ils se trouvent et leur nom. En fin de journée, le chef d'équipe ramasse les feuilles sur chaque planchette et il peut facilement retracer qui a fait quoi dans la serre et la performance du travail des employés peut être calculée rapidement. Peu importe, la méthode de suivi du travail préconisée l'important c'est de faire un suivi.

10.2 ENTRETIEN DES PLANTS DE TOMATE

Pour la suite de ce chapitre, le dispositif du travail retenu est celui où les plantes sont tuteurées dans des serres hautes et que les employés travaillent sur des rails qui sont les tuyaux de chauffage. Donc les tâches sont effectuées avec des chariots de récolte et des plateformes de travail qui s'élèvent et qui baissent sur demande. Dans ce système, les plantes sont maintenues à une hauteur constante, et les travailleurs sont toujours à la bonne hauteur de travail.

Il est important de donner des directives claires et des cibles de performance précises pour l'entretien des plantes. L'entretien des plantes est ce qui est nécessaire d'être fait sur un plant de tomate pour que sa croissance et sa production soient maximales. La plupart des tâches doivent être effectuées hebdomadairement et les standards de performance sont exprimés en minutes pour 100 plants ou en kg par mètre carré pour la récolte. Afin de maintenir la croissance de la plante, il faut au moins effectuer les tâches suivantes : enrouler, clipser, édrageonner, tailler les bouquets (grappes), poser des supports de bouquets, descendre les plants, effeuiller et récolter.

ENROULER ET CLIPSER

L'enroulage est l'opération requise pour garder la plante dans une position verticale. Le travailleur tient la plante d'une main et enroule la corde autour de la tige de la plante. Certaines variétés de tomates ont des tiges plus flexibles, moins cassantes que d'autres. L'enroulage est plus facile sur ce type de plante.

Clipser est une alternative à l'enroulage. Un petit clip (photo ci-contre) de plastique attaché à la corde est installé autour de la tige pour la garder en position verticale. Ce clip supporte le poids du plant. Le clipsage peut représenter un avantage réel sur l'enroulage avec les nouveaux employés, car ceux-ci cassent beaucoup de têtes lors de l'enroulage. Le clip doit être placé juste sous une feuille bien développée, mais jamais au-dessus.



ÉDRAGEONNER

L'édrageonnage est l'action d'enlever les bourgeons axillaires que l'on nomme communément drageon. La photo ci-contre montre bien cette tige secondaire qui pousse à l'aisselle des feuilles. Les drageons ont besoin d'être enlevés chaque semaine. On laisse la plante pousser sur une seule tige. C'est important d'enlever manuellement tous les drageons qui sont inutiles. S'ils sont trop gros, on peut utiliser un petit couteau préalablement désinfecté pour faire une coupe bien nette à l'aisselle de la feuille.



TAILLER LES BOUQUETS ET POSER DES SUPPORTS

La taille des fleurs et des fruits excédentaires sur les bouquets (grappes) et la pose des supports doivent être faits en même temps une fois par semaine. La grappe est la partie de la plante où se trouvent en tout premier les fleurs et par la suite les fruits. Le chef de culture dit au travailleur de garder un nombre spécifique de fleurs sur la grappe afin de maintenir la balance du plant. Chez la tomate, il

est parfois nécessaire d'installer un support de grappe. Si la grappe est longue et fine (photo de droite), le poids des fruits fera plier la grappe et affectera le calibre des fruits à la baisse. Un petit support de plastique spécialement conçu à cet effet aide à garder la tige de la grappe assez solidement pour que les fruits grossissent adéquatement (photo de gauche).



Normalement, il est nécessaire d'installer un support de bouquet seulement si la longueur de la hampe florale (petite tige qui relie les fleurs au plant) est plus grande que 1½ fois la longueur du support.

EFFEUILLER

L'effeuillage est l'action d'enlever des feuilles. Cette tâche doit être effectuée régulièrement, généralement on passe chaque semaine. Cette opération aide à garder une bonne circulation d'air au-dessus du niveau du sol et réduit la pression des maladies fongiques, de plus les feuilles du bas sont souvent inutiles quand elles sont plus basses que la grappe prête à récolter. Habituellement, on n'enlève pas plus de trois feuilles à la fois sur la tomate. L'élagage des feuilles à la base des plants aide au mûrissement des fruits. On garde environ 17 à 20 feuilles en été sur un plant mature. La feuille peut être enlevée manuellement ou coupée avec un couteau. L'usage d'un couteau peut réduire le risque de propagation des maladies, quand ils sont désinfectés régulièrement. Après maints effeuillages réguliers pratiqués sur la même tige, on ne voit qu'une longue tige nue parsemée de cicatrices de feuille espacées par des clips (photo ci-contre).



RÉCOLTER

Une fois que les fruits ont atteint leur pleine maturité, la récolte doit être faite sur une base régulière et de préférence en début de matinée. La plupart des producteurs cueillent les fruits trois fois par semaine. Pour la tomate charnue, les fruits sont récoltés à l'unité avec ou sans la queue (calice) attachée au fruit. Pour la tomate grappe, le nom le dit, c'est toute la grappe qui est cueillie. En général la grappe est composée de 4-5 fruits encore attachés à la rafle. L'ouvrier serricole peut



faire la cueillette debout ou en position assise sur un chariot de travail, pourvu qu'il utilise une bonne posture de travail et que la technique soit performante. On place les fruits dans des boîtes sur une seule ou deux couches en prenant toutes les précautions qui s'imposent pour ne pas les endommager. La vitesse peut atteindre jusqu'à 400 kg de tomate à l'heure avec l'utilisation des rails.

DESCENDRE LES PLANTS

La descente des plantes est aussi connue sous le nom d'abaissage. L'abaissage consiste à libérer une portion de ficelle du crochet qui supporte les plants. Ces crochets sont placés sur le fil de culture qui est tendu au-dessus à une hauteur variant de 3 et 4 mètres du sol (figure 10.1). Le crochet de 20 cm est très utilisé en serre. Un demi-tour de crochet libère donc autour de 20 cm de ficelle. Selon la fréquence des passages, normalement entre 7 et 14 jours, on déroule un certain nombre de tours de corde afin de maintenir les têtes des plantes à une hauteur optimale pour le travail de tuteurage. Dans la même opération, on déplace doucement les têtes des plants le long du rang pour pouvoir coucher le bas de la tige sur les autres tiges ou sur les supports de tige (représentation schématique de droite de la figure 10.1). L'abaissage vise aussi à maintenir au bon niveau la hauteur de travail pour les autres tâches qui se passent dans le bas des plants, comme l'effeuillage et la récolte. La descente des plants se réalise en mettant la priorité sur l'espacement égal des plants, ce qui uniformise la pénétration de la lumière dans la canopée végétale. Le nivellement des têtes représente une situation idéale, mais elle ne doit jamais être faite au détriment de l'espacement entre les plants.

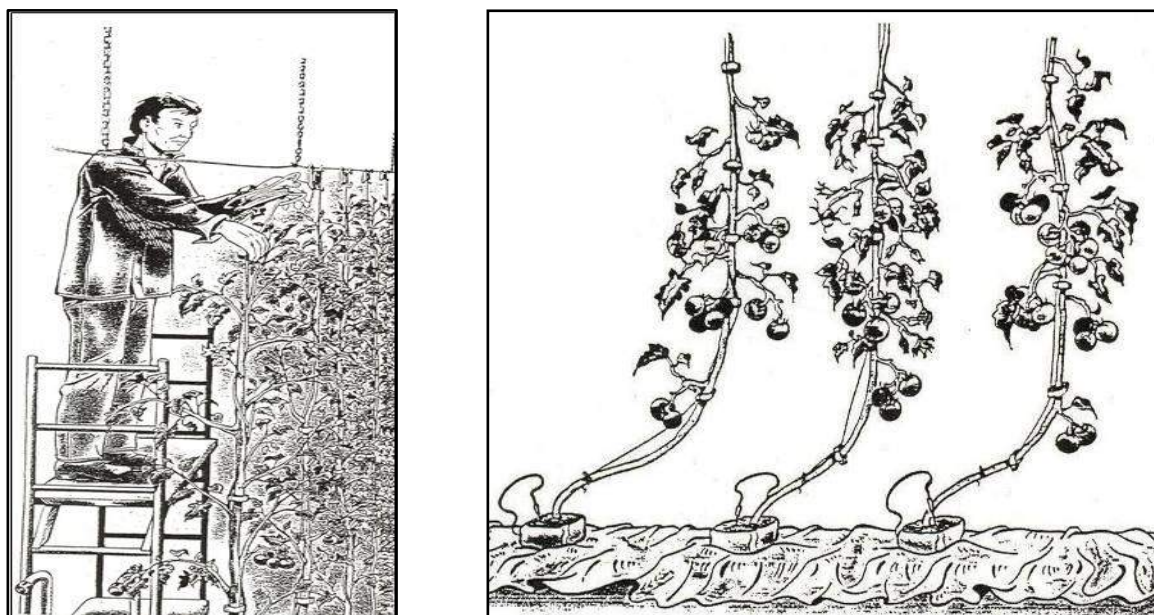


Figure 10.1 Ces deux représentations schématiques illustrent la descente des plants (figures adaptées de FAFSEA, 1997³⁹). À gauche, on voit le déroulement des crochets. À droite, on voit la bonne manière d'espacer les plants.

10.3 INDICATEURS DE PERFORMANCE DU TRAVAIL

Les indicateurs de performances servent à mesurer l'impact de l'efficacité de chacune des tâches horticoles. Cet impact se répercute au niveau de la gestion du travail à accomplir hebdomadairement. Les gestionnaires organisent le travail à effectuer grâce à des données de performance dans l'exécution des tâches (tableau 10.1). Par exemple, une serre où on retrouve 10 000 plants de tomate requiert plus de temps de travail qu'une serre avec seulement 5 000 plants de tomate. Cependant, si les travailleurs de la première entreprise sont plus efficaces, ils peuvent nécessiter moins de temps à effectuer le même travail. Si la vitesse du travail est meilleure et que les valeurs cibles d'efficacité (standards) s'améliorent, le travail se fait plus rapidement.

³⁹ FAFSEA, 1997, Guide de formation No 40. Conduite des chariots électriques en serres de tomates.

EFFICACITÉ DU TRAVAIL ET VITESSE D'EXÉCUTION

Les tâches à exécuter sur les plantes sont décidées par le producteur. Les techniques et les méthodes de travail sont assignées aux ouvriers. Le producteur vérifie l'application des techniques afin d'assurer la qualité du travail sur les plantes. Afin d'assurer la productivité du travail, il tient les registres de temps des ouvriers serricoles. Il évalue donc l'efficacité du travail en calculant les temps de travail effectués sur chaque tâche horticole.

Les travaux effectués sur les plants sont réguliers, parfois hebdomadaires ou encore bihebdomadaires. Ils sont répétitifs, souvent exécutés machinalement. C'est le caractère répétitif du travail qui permet d'acquérir de l'habileté et de la vitesse d'exécution avec le temps. Il est important de suivre un travailleur régulièrement afin de connaître la vitesse d'exécution du travail afin qu'il atteigne les standards connus. Lorsqu'un travailleur effectue une tâche, il doit accomplir le travail durant une période de temps donnée. Le temps moyen qu'un ouvrier prend pour faire un travail est connu. C'est le standard à atteindre. Chaque travailleur ne performe pas de la même façon et le producteur devra en tenir compte. Il faut donc établir une tolérance dans les valeurs moyennes.

Les standards sont également établis en fonction des différents types de tomates qui existent. Les plants avec des fruits de petit calibre comme la tomate raisin sont plus légers. Ils sont faciles à déplacer le long de la broche de culture. La valeur du standard de travail de l'abaissage pour ce type de tomate est conséquemment plus élevée (tableau 10.1).

Le tableau 10.1 montre différents standards de temps de travail. Les variétés de tomates en grappe et raisin ont une croissance hebdomadaire plus grande que celle des tomates charnues. Pour cette raison, lorsqu'on évalue la possibilité de clipser et d'édrageonner aux 14 jours, le producteur doit s'assurer que les têtes des plantes ne tombent par manque de soutien. Pour les types en grappe et raisin, les plantes ont tendance à former plus de drageons dans la portion intermédiaire du plant. De ce fait, les temps reliés à l'édrageonnage sont plus longs. Les temps d'effeuillage varient également d'un type de plant de tomate à l'autre. Certaines variétés sont dites « ouvertes » parce que les entrenœuds sont plus longs. Ce type de plant est plus facile à effeuiller. L'accès aux feuilles est facile et l'exécution de la tâche plus rapide. Le temps de récolte varie beaucoup d'un type de fruit à l'autre. Plus le nombre de fruits à cueillir est grand, plus le temps de récolte est long. Pour la tomate charnue, lorsque le calibre des fruits est plus petit, le temps de récolte est plus long. Toujours pour le type charnu, lorsque le pédoncule de la queue de la tomate est à couper lors de la récolte, ça représente une opération supplémentaire et ça se répercute automatiquement sur le temps d'exécution.

Les standards pour les différentes tâches montrées dans le tableau 10.1 sont exprimés en nombre de tiges (têtes de plant) qui sont entretenues pendant une heure. Un travailleur doit savoir combien de têtes il aura à entretenir pour qu'il puisse estimer sa progression. Le contexte de travail est différent d'une serre à l'autre : longueur des rangs, densité de plantation, type de tomate, type de chariot de travail, etc. Le producteur doit indiquer clairement à ses travailleurs les standards à atteindre dans une journée, en donnant des points de repère. Il doit préciser à ses ouvriers serricoles le nombre de rangs qu'ils doivent effectuer pendant une journée typique de travail, selon la tâche à réaliser. En sachant le nombre de plants par rangs, la progression du travail se définit par elle-même durant le cours de la journée. Les standards exprimés en tiges/heure sont utiles pour les producteurs pour que les entreprises puissent se comparer entre elles. Par contre, les standards exprimés en nombre de rangs/jour sont plus appropriés pour les ouvriers serricoles.

Pour une entreprise, il est utile de compiler le nombre total d'heures de chacune des tâches d'entretien qui sont réalisées sur les plants pendant une semaine. Ce nombre peut être converti en le divisant par la surface de la serre (m^2), ainsi périodiquement, il est possible de comparer la performance de travail de son entreprise versus des standards bien établis dans le domaine, comme pour la tomate charnue de 1,5 à 2,0 heures/ m^2 /an.

Tableau 10.1 Temps de travail standard pour les différentes tâches d'entretien pour les tomates de type « Beef », en grappe et cerise (nombre de tiges/heure).

No de semaine :		
No de la serre :		
Superficie :		

Tâches	Fréquence	Nb heures	Types de tomate		
			Beef	Grappe	Cerise
			std	std	std
			Nb tiges/h		
1- Enrouler - édrageonner			600	650	650
2- Enrouler seulement					
3- Clipser					
4- Clipser - édrageonner aux 14 j	14 j		600	625	600
5- Clipser - édrageonner aux 7 j	7 j				
6- Édrageonner			1 600	1 800	1 500
7- Abaisser			750	750	750
8- Récolter			300*	240*	105*
9- Effeuille : enlever 1 F			1 300	1 300	1 300
enlever 2 F			750	750	950
enlever 3 F			550	550	700
10- Tailler des bouquets	7 j		1 200		1 200
11- Poser des supports de bouquets	7 j		1 200		1 200
12- T. bouquets + poser supports	7 j		800	850	
13- Enlever une F dans la tête			1 500	1 500	1 500
14- Autres (h)					

* : kg/h

Nombre d'heures total :

Efficacité (Nb h/1 000 m²) :

ANNEXE 1

Greffage de la tomate

Les détails techniques et les photos qui suivent proviennent d'une présentation (*Le greffage un incontournable sous abris!*) qui a été faite par Gilles Turcotte en 2012 dans le cadre des *Journées horticoles du MAPAQ : Productions légumières sous abris non chauffés*⁴⁰.

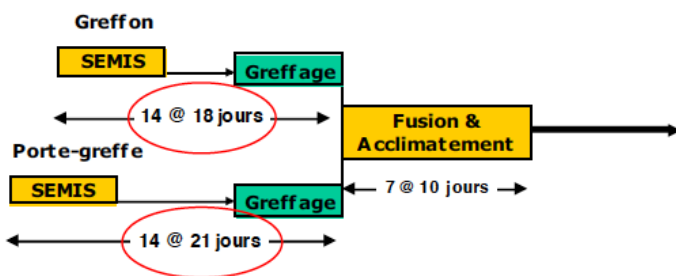
Préparation des plantules

- ✓ Nettoyage / Désinfection / Protection
- ✓ Ajuster la cédule de préparation des plants
- ✓ « Chambre » de fusion : contrôle de température & lumière



Avant de greffer, le nettoyage et la désinfection de la pépinière sont essentiels. On a besoin d'un endroit pour faire la fusion des plantules et pour les acclimater avant de les transférer dans la pépinière.

Les étapes du greffage

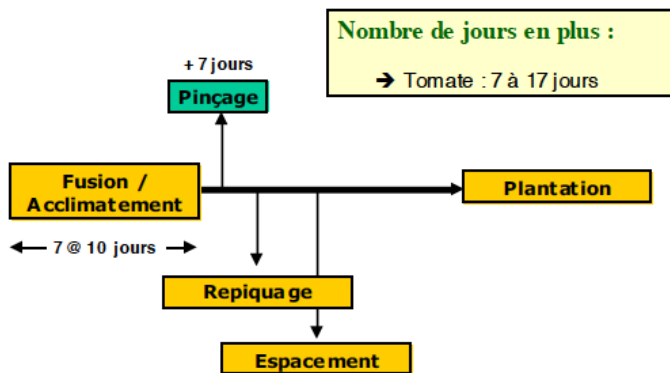


→ Trouver les bonnes dates de semis PG vs G

Normalement, le greffon (G) est prêt pour le greffage après 14 à 18 jours. Les porte-greffes (PG) les plus rapides poussent à la même vitesse que les greffons, mais certaines variétés prendront jusqu'à 21 jours avant d'être prêtes. La durée de la fusion est de 3-4 jours et l'acclimatement de 4 à 7 jours.

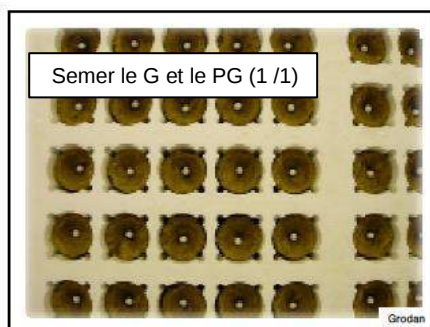
⁴⁰ <http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/?r=greffage&sort=0&page=1>

Les étapes du greffage



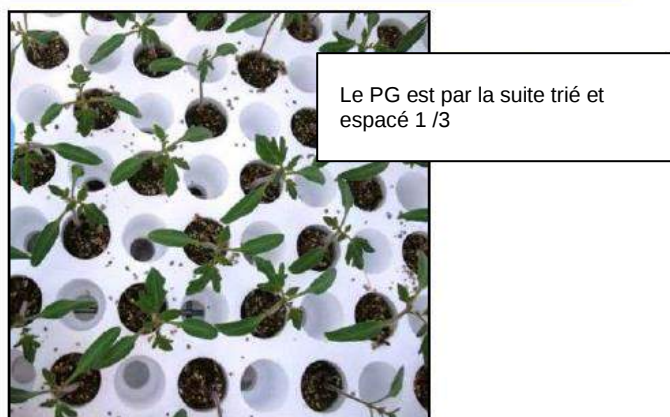
Le pinçage pour produire 2 têtes par porte-greffe est à faire dès que les plantules ont repris leur croissance normale, soit environ 2 jours après la période d'acclimatement. Après le pinçage, ça prend 7 jours avant que les plants aient initié les nouvelles têtes et repris une bonne surface foliaire. Au total, le greffage rallonge la période de production d'un plant de tomate par un minimum de 7 jours (sans pinçage) et un maximum de 17 jours.

Semis



Le semis du greffon (G) et du porte-greffe (PG) se fait normalement.

Semis



Le porte-greffe (PG) est trié et espacé. Il est remplacé à 1 cellule sur 3 dans les plateaux.

Semis



→ Besoin d'espace pour greffer



L'espacement permet un greffage plus facile.

Objectifs :

- Plants robustes
- Tiges fortes pour greffage
- Taux de matière sèche élevé

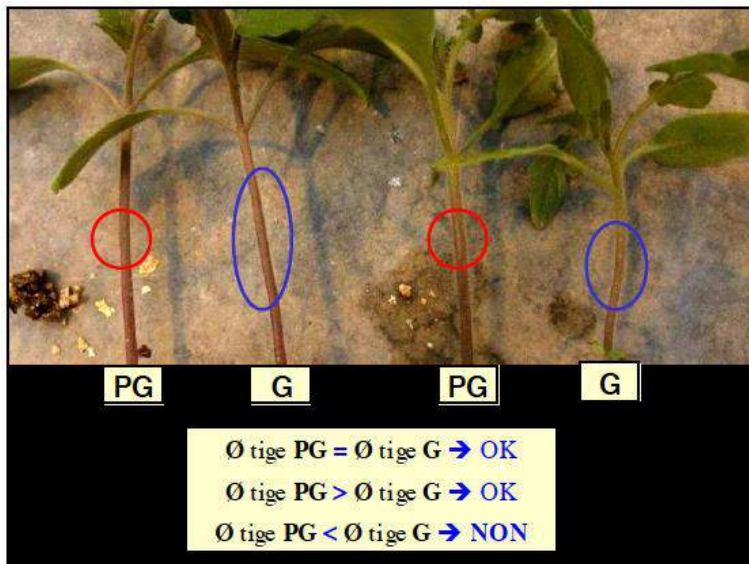


Pour un greffage réussi, on a besoin de plantules robustes, compactes avec une bonne réserve en énergie (taux de matière sèche élevé).

Le FACTEUR déterminant



Le diamètre de tige du porte-greffe et du greffon doit être compatible.



Pour que la fusion des tiges se fasse facilement, le diamètre de tige du porte-greffe (PG) peut être égale ou légèrement supérieur à celui du greffon (G). S'il est plus petit, la fusion sera plus difficile.

Petits plants prêts pour le greffage?

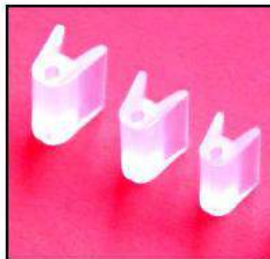


Ø tige = 1,5 à 1,8 mm

Les petits plants sont prêts pour le greffage lorsque le diamètre de tige est entre 1,5 et 1,8 mm.

Accessoires et équipements

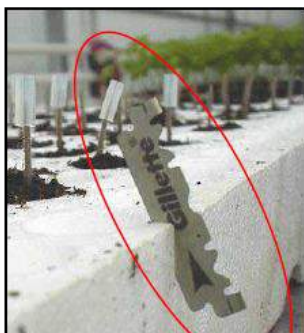
- Pulvérisateur à main avec de l'eau
- Pulvérisateur à main avec un désinfectant
- Un bol d'eau pour accueillir les G après la coupe
- Pinces de greffage (au moins 3 grandeurs)



On utilise des pinces dont le diamètre va de 1,2 à 2,2 mm. Les grandeurs de pinces les plus utilisées sont de 1,5 et 1,8 mm.

Accessoires et équipements

- Des lames de rasoir coupées en 2 sections.



Le meilleur outil pour couper les plantules est une bonne vieille lame de rasoir que l'on sépare en 2 sections. Il est nécessaire de changer régulièrement de lame pour toujours faire une coupe nette.

Accessoires et équipements

- Chaises et tables pour travailler confortablement. Un bon éclairage.
- Film plastique et accessoires nécessaires pour fabriquer les petits tunnels.



Le greffage est un travail répétitif qui demande une grande minutie. Une posture de travail ergonomique et un bon niveau d'éclairage sont très importants.

Greffage – étape par étape

1. Couper le G et le PG

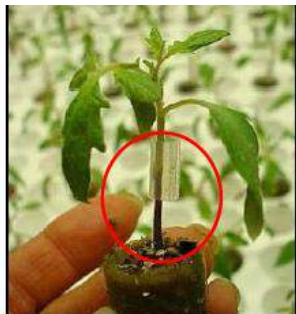


On coupe le greffon en premier. On en coupe suffisamment pour pouvoir greffer un plateau complet de porte-greffes. On place les plantules coupées dans un récipient qui les gardera bien turgescents. Le porte-greffe est coupé par la suite.

Greffage

Couper le PG 2-3 cm au-dessus du substrat :

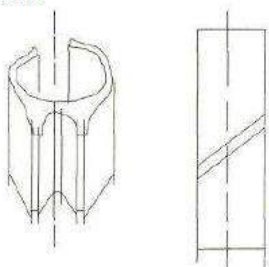
- Plus haut, le petit plant va plier sous le poids de la pince
- Plus bas, le greffon pourrait s'enraciner



Il est important de couper tous les porte-greffes à la même hauteur.

Greffage

- Le PG et le G sont coupés à un angle identique de 45°
- Une coupe avec un angle permet une meilleure fusion qu'une coupe droite, car la surface de contact est plus grande



L'angle idéal est de 45°. Un angle plus droit ou plus oblique n'améliore pas la fusion, c'est tout le contraire.

Greffage – étape par étape

2. Installer les pinces sur PG



On installe toutes les pinces sur un plateau en gardant rigoureusement le même axe (voir le schéma sur la diapo précédente). La pince doit être légèrement plus petite en diamètre que la tige. S'il y a de l'espace entre la tige et la pince, l'eau va s'infiltrer et la tige va pourrir.

Greffage – étape par étape

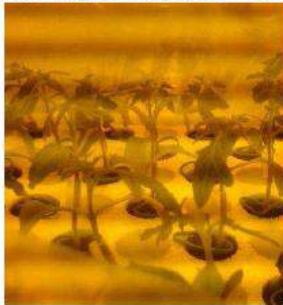
3. Insérer les G en étant sûr que les 2 faces coupées sont 100 % en contact



La fusion sera d'autant plus facile que le contact entre les 2 tiges sera bon.

Greffage – étape par étape

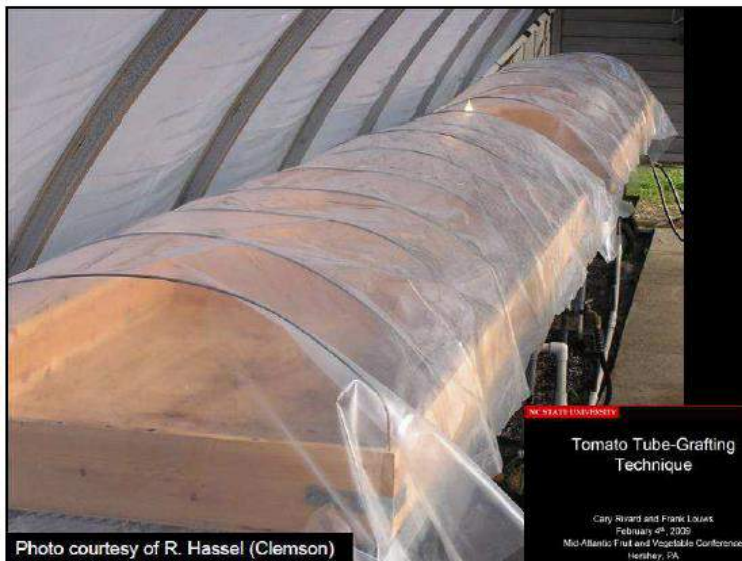
4. Brumiser abondamment les plantules et le plateau.
- Placer immédiatement les plants greffés sous un abri.



Une fois tous les greffons installés, on fait une bonne brumisation des plants greffés et on place immédiatement le plateau dans le tunnel de fusion.



La photo ci-contre et les 2 suivantes montrent des exemples de tunnels simples pour réaliser la fusion et l'acclimatement des plants greffés.



Fusion de la greffe

- T°air de 20–22°C, dans le tunnel de fusion
- Ne pas dépasser 24°C, même pendant les périodes ensoleillées
- HR 85-90 %
- S'il est nécessaire de brumiser → T°EAU autour de 20°C
- Le tunnel de fusion doit permettre aux plantes de recevoir de la lumière → JAMAIS de soleil direct
- Ça prend environ 3 jours et ensuite on commence l'acclimatement

Les conditions climatiques à l'intérieur du tunnel de fusion doivent être rigoureusement respectées.

Repiquage et pinçage

- Repiquer les plantules lorsqu'ils auront atteint le stade normal de repiquage
- Devrait être fait entre le 9^e et le 12^e jour après le greffage
- Pincer les plantules. Faire une coupe propre avec une lame de rasoir
- L'initiation des 2 têtes devrait se faire en 3 jours

Après le pinçage les nouvelles têtes (drageons) vont apparaître après environ 3 jours. Ça va prendre 7 jours avant d'avoir toute la surface foliaire.

Type de plants désiré

- 1 sur 1 (Tomate, concombre et poivron)



Si on ne fait pas de pinçage, chaque porte-greffe n'aura qu'une seule tête. Cette technique donne des plants très vigoureux. En général, ça donne des plants trop vigoureux et végétatifs.

Type de plants désiré

- 2 sur 1 – Cotylédons (tomate)
- 2 sur 1 – 1^{er} – 2^e nœuds (tomate)



Il est préférable de pincer les plants greffés pour obtenir 2 têtes. De cette façon les plants n'ont pas d'excès de vigueur et ils sont mieux équilibrés.

ANNEXE 2

MÉTHODOLOGIE TOM'POUSSE

Tom’Pousse vous présente une méthodologie qui vous permettra de faire votre propre suivi de culture dans la tomate de façon simple et efficace. Cette méthodologie Tom’Pousse est orientée vers les résultats, c’est-à-dire le nombre de fruits qui se développeront à chaque semaine et les rendements. Il vous suffit de prendre des mesures sur des plants témoins à chaque semaine pour en évaluer la progression. Il est très important de bien sélectionner les plants, car ils guideront vos décisions pour l’ensemble de la serre. Ces mesures vont ensuite vous permettre d’analyser votre situation et de poser rapidement les bonnes actions. L’objectif est de maintenir vos plants productifs, vigoureux et équilibrés (végétatif versus reproductif) en fonction de l’énergie lumineuse globale reçue pendant une semaine en joules/cm².

SÉLECTION DES PLANTS

Les observations et les prises de données doivent toujours être faites sur les mêmes plants tout au long de la production.

- Dans une serre, pour un même cultivar, choisir 2 groupes homogènes de 5 à 7 plants (total de 10 à 14), au hasard dans 2 zones représentatives de l’ensemble de la serre, davantage localisées au centre; vous pouvez prendre 5 à 7 plants consécutifs sur un même rang en considérant que les plants rabaissés se déplaceront au bout de l’allée; ou sélectionner les plants au hasard dans la serre, en évitant de prendre les plus beaux dans des sites non représentatifs (en bordures, trop chaud, frais ou sombre...).
- Bien identifier ces plants avec des rubans colorés, numérotés et attachés au crochet de préférence (**PHOTO 1**).
- Prendre les mesures et les observations sur ces mêmes plants à la même heure tous les 7 jours. Si vous choisissez l’après-midi, gardez cette période à chaque semaine.

- S'il y a bris de la tête sur un plant témoin ou s'il n'est plus représentatif de l'ensemble, il est préférable et sans conséquence de prendre le plant voisin.
- Bien identifier les plants qui sont dans les bacs de drainage et en choisir d'autres s'ils ne sont plus représentatifs (ex : bris de la tête) de ce qui se passe dans l'ensemble de la serre.

LES MESURES SUR LA PLANTE

1- Mesures de croissance : croissance hebdomadaire - diamètre de la tige - longueur de la feuille mature

Chaque semaine, faites une marque sur la corde à l'extrémité du plant avec un crayon-feutre (**PHOTO 2**). Évitez d'utiliser directement le crayon-feutre sur la grappe par exemple (**PHOTO 3**), car les phénols contenus dans le marqueur pourraient l'endommager.

Pour ceux et celles qui sont plus expérimentés et qui veulent prendre des mesures rapides, vous pouvez vous fier à la longueur de votre avant-bras (**PHOTO 4**), mesure qui se rapproche généralement de la longueur désirée pour une feuille mature. Pour évaluer rapidement la croissance hebdomadaire, vous pouvez prendre la mesure de votre main bien étalée (**PHOTOS 5 et 6**).

- 1- **La croissance hebdomadaire** s'obtient en mesurant la distance entre l'apex et la marque faite avec un crayon-feutre sur la corde la semaine précédente (**PHOTO 7a**), ce qui correspond au point de croissance. La mesure à l'extrémité du plant doit s'arrêter au sommet de la partie du plant qui est en croissance, sans tenir compte de la jeune feuille qui peut pointer vers le haut (**PHOTO 7 b**).
- 2- **Le diamètre** de la tige (indicateur de la vigueur du plant) est pris au point de croissance, là où l'on a fait notre marque sur la corde la semaine précédente (**PHOTO 8**). S'il s'y trouve un obstacle comme une grappe ou une feuille, prenez la mesure juste au-dessous. Comme la tige est généralement ovale, prenez la mesure sur

le côté le plus étroit. Pour prendre cette mesure, vous aurez besoin d'un vernier qui se vend dans toutes les bonnes quincailleries, entre 10 \$ (**PHOTO 9**) et 70 \$ (**PHOTO 8**) selon les modèles.

- 3- **La longueur d'une feuille mature** (pleinement étirée), en prenant celle située immédiatement en dessous de la dernière grappe ayant au moins un fruit noué (**PHOTO 10**).

2- Hauteur de la floraison

Mesurer la distance entre la dernière grappe en fleurs et l'apex (**PHOTO 11**). La fleur est considérée comme étant ouverte lorsqu'elle est à peine ouverte (craquée) et qu'on peut apercevoir le jaune des pétales (**PHOTO 12a** : 1 fleur ouverte) (**PHOTO 12 b** : 2 fleurs ouvertes).

Cette donnée, avec la longueur d'une feuille mature, nous permet d'évaluer l'équilibre des plants, reproductif ou génératif.

Plus le bouquet portant des fleurs ouvertes est près de l'apex, plus les consignes qui prévalent au moment de la prise de données sont reproductives. Au contraire, plus le bouquet est éloigné de l'apex, plus les consignes qui prévalent sont végétatives.

3- Stade de nouaison et vitesse de nouaison (calcul)

a) Stade de nouaison

Pour déterminer le stade de nouaison à chaque semaine, il faut donner une valeur à la dernière grappe qui porte au moins un fruit en début de nouaison. Un fruit est considéré comme étant noué dès que les pétales se referment (**PHOTO 13**) et qu'on peut les enlever en tirant simplement dessus alors que le style est encore attaché au jeune fruit (**PHOTO 14**).

Pour vous aider à repérer facilement le numéro de la grappe nouée, ajoutez un clip coloré sur la corde ou un ruban attaché sur la grappe à chaque 5 grappes et numérotez-les comme point de repère (5^e grappe, 10^e grappe, 15^e grappe, etc..).

Comment donner une valeur à la dernière grappe en nouaison?

Nombre de fruits noués sur la grappe actuelle = **[G -1] + n**

G = numéro de la **grappe**

n = **fruits noués** divisé par fruits conservés sur la grappe (ex : si taille à 4 fruits et qu'il y a 2 fruits noués, on obtient 2 /4 [0.5])

Exemples sur la grappe n° 1 avec 5 fruits totaux laissés sur la grappe G selon **[G-1 = 1-1 = 0 + n]**

La valeur « **n** » se calcule comme suit :

- | | | | |
|--|-----------|---|-------|
| - 1 fruit noué sur 5 (n = 1/5 = 0,2) (PHOTO 15) | (0 + 0,2) | → | N 0,2 |
| - 2 fruits noués sur 5 (n = 2/5 = 0,4) (PHOTO 16) | (0 + 0,4) | → | N 0,4 |
| - 3 fruits noués sur 5 (n = 3/5 = 0,6) | (0 + 0,6) | → | N 0,6 |
| - 4 fruits noués sur 5 (n = 4/5 = 0,8) | (0 + 0,8) | → | N 0,8 |
| - 5 fruits noués sur 5 (n = 5/5 = 1,0) | (0 + 1,0) | → | N 1,0 |

Ainsi, la grappe 7 aura une valeur 7 que lorsque tous ses fruits seront noués [7,0]. Si la grappe 8 ne présente encore aucun fruit noué, nous conservons la valeur 7.0 même si elle est en fleur **[PHOTO 17]**.

Truc :

Pour simplifier les calculs, vous pouvez considérer que :

-une grappe taillée à 5 fruits aura toujours les décimales suivantes : 0.20 - 0.40 - 0.60 - 0.80 pour 1/5 - 2/5 - 3/5 ou 4/5 fruit;

-à 4 fruits par grappe, les décimales seront 0.25 - 0.50 - 0.75 pour ¼ - 2/4 ou 3/4 fruits
-à 3 fruits par grappe, les décimales seront de 0.33 - 0.67 - pour 1/3 ou 2/3 fruits.

b) Vitesse de nouaison (calcul)

À partir des valeurs de nouaison obtenues à chaque semaine, on peut obtenir la vitesse de nouaison par soustraction d'une semaine à l'autre.

Exemples :

Vitesse de nouaison de la semaine 11 = $6.75 \text{ (sem. 11)} - 6.25 \text{ (sem.10)} = 0.50$
grappe/semaine.

Vitesse de nouaison de la semaine 12 = $7.40 \text{ (sem. 12)} - 6.75 \text{ (sem. 11)} = 0.65$
grappe/semaine.

Vitesse de nouaison de la semaine 13 = $8.00 \text{ (sem. 13)} - 7.40 \text{ (sem. 12)} = 0.60$
grappe/semaine.

4- Développement en fruits par semaine

C'est le nombre de fruits qui ont noué au cours des 7 derniers jours sur le plant. Il faut donc toujours compter les nouveaux fruits qui s'ajoutent à chaque semaine.

Exemples :

Semaine 11 : Grappe G1 = 2 fruits + 2 fleurs; G2 = 0 fleur → Développement de 2 fruits sur le plant.

Semaine 12 : G1 = 4 fruits/4 [2 nouveaux]; G2 = 2 fruits + 3 fleurs [2 nouveaux]; G3 = 0 fleur
→ Dév. = 4 fruits pour ce plant.

Semaine 13 : G1 = 4 fruits/4; G2 = 5 fruits [3 nouveaux]; G3 = 3 fruits + 0 fleur [3 nouveaux];
G4 = 2 fleurs → Dév. = 6 fruits pour ce plant.

Si vous préférez, vous pouvez identifier chaque grappe avec un petit ruban de couleur où chaque couleur correspond au nombre de fruits laissés sur la grappe. Par exemple, un ruban

rouge indiquerait 5 fruits par grappe, un ruban bleu indiquerait 4 fruits et un ruban vert pour 3 fruits. Sinon, vous pouvez vous fier aux décimales que vous aurez notées à chaque mesure de grappe pour estimer le nombre de fruits conservés sur chacune (référer au point 3a : truc).

5- Nombre de fruits totaux par plant

Il faut compter le nombre de fruits noués et non récoltés sur le plant à chaque semaine.

On peut ensuite multiplier ce chiffre par la densité de plantation afin d'obtenir le nombre de plants au m^2 ($1 \text{ min } 2 \text{ s} = \sim 10 \text{ pi}^2$). Cette donnée permettra de déterminer le nombre de fruits à laisser sur la grappe, nombre qui est en relation directe avec la quantité de lumière reçue par semaine.

6- Stade de récolte

Pour déterminer le stade de récolte ou le nombre de fruits récoltés par grappe d'une semaine à l'autre, il faut donner une valeur à la grappe qui est en récolte.

La méthode de calcul est la même que celle décrite pour le stade de nouaison (au point 1), sauf que vous devez calculer le nombre de fruits récoltés sur la grappe au lieu des fruits noués.

Nombre de fruits récoltés sur la grappe $G \rightarrow [G - 1] + r$

G = Numéro de la grappe récoltée

r = nombre de fruits récoltés sur le nombre de fruits totaux laissés sur la grappe

Exemples sur la grappe no 3 avec 5 fruits totaux laissés sur la grappe G selon $[G-1 = 3-1 = 2 + r]$

La valeur « r » se calcule comme suit :

- 1 fruit récolté sur 5 fruits totaux	$(r = 1/5 = 0,2)$	$(2+ 0,20)$	→	R 2,2
- 4 fruits récoltés sur 5	$(r = 4/5 = 0,8)$	$(2+ 0,80)$	→	R 2,8
- 5 fruits récoltés sur 5	$(r = 5/5 = 1,0)$	$(2+ 1,00)$	→	R 3,0

Exemples dans le temps :

Semaine 18 : Le plant avait 1 fruit récolté sur 4 (grappe taillée à 4 fruits) à la 7^e grappe. Le stade de récolte sera donc de 6,25, ce qui veut dire qu'il y avait 6 grappes complètement récoltées et le $\frac{1}{4}$ des fruits récoltés sur la 7^e ($G-1= 7-1= 6$ et $r = \frac{1}{4} = 0.25$, donc $6 + 0.25 = 6.25$).

Semaine 19 : Le même plant avait 3 fruits récoltés sur 4 (grappe taillée à 4 fruits) à la 7^e grappe. Le stade de récolte sera donc de 6,75, ce qui veut dire qu'il y avait 6 grappes complètement récoltées et 3 fruits sur 4 à la 7^e ($G-1= 7-1= 6$ et $r = \frac{3}{4} = 0.75$, donc $6 + 0.75 = 6.75$).

7- Délai entre la nouaison et la récolte (calcul)

C'est le nombre de semaines qui s'écoulent entre la nouaison d'un fruit et la récolte de ce fruit sur la même grappe. Ce délai se situe normalement entre 8 et 10 semaines. Cette mesure permet de mieux anticiper les récoltes à venir.

À chaque semaine lors de la prise de données, vous faites le suivi de chacune des grappes. Tom'Pousse vous joint des tableaux que vous pouvez utiliser ou adapter selon vos besoins. Vous connaissez la semaine de nouaison et le nombre de fruits pour chacune. Pour une grappe donnée, disons la 7^e, lorsque sa récolte sera débutée, il s'agit d'indiquer le nombre de jours qui se sera écoulé entre la nouaison et la récolte.

AUTRES DONNÉES À MESURER

Les données qui sont identifiées d'un astérisque (*) sont importantes à prendre. Les autres sont facultatives.

Régie d'irrigation

* La consommation en eau

Cette mesure indique l'activité de la plante en tout temps. Il est normal qu'un plant boive plus quand il fait beau. Ainsi, une bonne consommation en eau indique que les racines sont en forme et que le plant peut transpirer et produire des tomates. Quand un plant cesse de boire et qu'il fait beau et chaud, son rendement diminue, car l'usine est en arrêt. Lorsque l'usine redémarre ses activités, les fruits comme les feuilles grossissent, car ils sont composés de 90 % d'eau. Voilà pourquoi l'eau est à la base de la production. C'est un bon indicateur à suivre quotidiennement et même à toutes les heures quand c'est possible. Il suffit de vérifier régulièrement durant la journée la consommation d'eau par le plant (début, fin, et durant la journée), les volumes d'eau par plant à chaque arrosage et les volumes perdus ou lessivés (= drainés). On peut estimer le % de lessivage en calculant le volume perdu divisé par le volume total de solution apporté au plant durant la journée.

-*Heures d'arrosage : début et fin, durant la journée

-*Arrosage par plant (quantité de solution fertilisante à chaque arrosage)

-*Apport par jour (en litres par plant; puis en litres par m² en multipliant par la densité de plantation)

-*Drainage (en % = [quantité de solution drainée par jour/quantité de solution totale apportée par jour] X 100) :

par sac, par pain de culture ou par pot selon le système.

Régie de fertilisation

-CE substrat (= conductivité électrique = salinité = EC en anglais)

-*CE apport (au gouteur, solution fertilisante)

-*CE drainage (solution de lessivage)

-*pH dans le substrat et dans l'eau de drainage

Régie de température et d'humidité

-*Température moyenne sur 24 heures ($T^0_{\text{moy 24 h}}$)

-*Température moyenne de jour et température moyenne de nuit ($T^0_{\text{jour}}/T^0_{\text{nuit}}$)

-Température extérieure de jour et de nuit

-Humidité relative moyenne jour et nuit

***Calibre moyen des fruits récoltés**

Cette donnée permet de connaître l'efficacité du plant à transformer les sucres et l'énergie lumineuse en fruits. C'est aussi un indice d'évaluation de l'équilibre reproductif/végétatif. L'évolution hebdomadaire du calibre moyen nous permet de voir la tendance au niveau de l'équilibre.

***Luminosité**

L'énergie lumineuse est évaluée par la sommation de la radiation globale reçue par semaine et elle est exprimée en joules/cm². Cette mesure nous donne la quantité d'énergie lumineuse reçue entre 380 et 1 100 nanomètres. Au total, les données de 10 stations météo réparties un peu partout au Québec seront accessibles à chaque semaine sur Tom'Pousse.

Rédigé par :

Liette Lambert, agr., MAPAQ St-Rémi

En collaboration avec :

Gilles Turcotte, agr., Pilote AgriRéseau Légumes de serres, Jacques Painchaud, agr., MAPAQ Nicolet et Julie Lapalme, étudiante, Université de Sherbrooke.

COMMENT PRENDRE LES MESURES SUR UN PLANT DE TOMATE?



Photo 1



Photo 2



Photo 3

Sélection des plants :

Photo 1 : Bien identifier ces plants avec des rubans colorés, numérotés et attachés à un crochet de préférence.

Mesure de la croissance : croissance hebdomadaire, diamètre de la tige, longueur de la feuille mature :

Photo 2 : À chaque semaine, faites une marque sur la corde à l'extrémité du plant avec un crayon-feutre. La distance entre 2 marques vous donne la croissance hebdomadaire.

Photo 3 : Évitez d'utiliser directement le crayon-feutre sur la grappe, car les phénols contenus dans le marqueur pourraient l'endommager.



Photo 4

Photo 4 : Utilisez un ruban à mesurer souple pour prendre les mesures de longueur d'une feuille mature. Il est aussi possible de faire une assez bonne évaluation avec notre avant-bras comme mesure étalon pour estimer la longueur d'une feuille mature (plus ou moins 45 cm).

Photo 5

Photo 6

Photos 5 et 6 : Utilisez un ruban à mesurer souple pour prendre les mesures de la croissance hebdomadaire. Il est aussi possible de l'estimer avec votre main bien étalée (plus ou moins 20-25 cm entre l'auriculaire et le pouce).



Photo 7



Photo 8

Photos 7 et 8 : La croissance hebdomadaire s'obtient en mesurant la distance entre l'apex et la marque faite avec un crayon-feutre sur la corde lors la semaine précédente (photo 2), ce qui devient notre point de croissance à mesurer (photo 8). La mesure à l'extrémité du plant doit s'arrêter au sommet de la partie du plant qui est en croissance, sans tenir compte de la jeune feuille qui peut pointer vers le haut.

Photo 8 : Le diamètre de la tige (indicateur de la vigueur du plant) est pris au point de croissance (marque de la semaine précédente). S'il s'y trouve un obstacle comme une grappe ou une feuille, prenez la mesure juste au-dessous. Comme la tige est généralement ovale, prenez la mesure sur le côté le plus étroit.



Photo 9



Photo 10

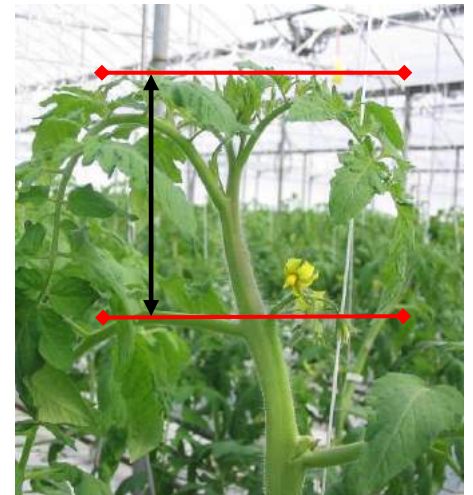


Photo 11

Photos 8 et 9 : Pour prendre cette mesure, vous aurez besoin d'un vernier qui se vend dans toutes les bonnes quincailleries, entre 10 \$ ([photo 9](#)) et 70 \$ ([photo 8](#)) selon les modèles.

Photo 10 : Mesurer la longueur d'une feuille mature (pleinement étirée), en prenant celle située immédiatement en dessous de la première grappe qui porte au moins un fruit noué, en partant de l'apex du plant.

Hauteur de la floraison :

Photo 11 : Mesurer la distance entre l'apex et la première grappe qui a atteint le stade de floraison. Cette distance est illustrée sur la photo par la ligne noire.



Photo 12a



Photo 12 b



Photo 13

Photo 12a et 12b : Une grappe a atteint le stade de floraison lorsqu'au moins une fleur sur la grappe est bien ouverte ([photo 12a](#)). Ceci est un léger changement par rapport à ce que l'on suggérerait dans le passé. Cette petite modification a pour objectif de faciliter la prise de mesure. Lorsque c'est nécessaire,

on peut prendre la mesure avec une grappe moins avancée, à condition qu'au moins une fleur soit sur le point d'ouvrir (photo 12 b). C'est le stade minimum pour considérer qu'une grappe a atteint le stade de floraison. Dans le cas où le plant témoin n'a pas de grappe à ce stade, il est possible de prendre la mesure sur un plant qui se situe à proximité, pourvu que ce plant soit comparable et qu'il soit bien représentatif des autres plants de la serre.

La hauteur de la floraison permet d'évaluer l'équilibre des plants. Par exemple, lorsque la floraison se fait près de l'apex, c'est une caractéristique d'un plant reproductif. À l'opposé, si la floraison se fait loin de l'apex, c'est le signe d'un plant qui est végétatif. En regardant d'une semaine à l'autre l'évolution de cette donnée, on peut évaluer les effets de la conduite climatique sur l'équilibre des plants de tomate.

Stade de nouaison :

Photo 13 : Pour déterminer le stade de nouaison chaque semaine, il faut donner une valeur à la dernière grappe qui porte au moins un fruit en début de nouaison. Un fruit est considéré comme étant noué dès que les pétales se referment et que l'on note un début de grossissement du fruit.



Photo 14



Photo 15



Photo 16

Photos 14, 15 et 16 : Pour que le fruit soit complètement considéré comme noué, il faut aussi que l'on puisse enlever les pétales en tirant simplement dessus alors que le style est encore attaché au jeune fruit.

Objectif de la méthode :

Ces mesures permettent d'évaluer l'état de la culture : vigueur, équilibre, productivité, etc. C'est un excellent outil pour vous aider à prendre les bonnes décisions pour la conduite de culture. En conduite de culture, l'objectif est toujours de maintenir les plants productifs, vigoureux et équilibrés (végétatif versus reproductif) en fonction de l'énergie lumineuse reçue pendant une semaine.

Photo 17 : Exemple de plants qui sont vigoureux et reproductifs.

Photo 18 : Plants qui manquent de vigueur.

Photo 19 : Plants qui sont trop végétatifs.



Photo 17



Photo 18



Photo 19

Réalisation :

Liette Lambert, agronome, Direction régionale de la Montérégie, secteur Ouest, MAPAQ

Révision :

Gilles Turcotte, M.Sc., agronome, Expert-conseil en serriculture

Photos : Liette Lambert, agr.

ANNEXE 3

Entretien et nettoyage des serres

À la fin de chaque saison de production, il est nécessaire de nettoyer et de désinfecter la serre. C'est aussi le bon moment pour remettre à niveau les outils et les équipements de production. La qualité du nettoyage peut faire toute la différence sur la réussite de la prochaine saison, pourquoi?

- Parce que cette opération permet de rendre la serre plus lumineuse.
- Ça permet aussi de réduire les risques phytosanitaires pour la prochaine culture par l'élimination des résidus de culture, des mauvaises herbes et par la destruction ou la réduction des spores de champignon, des bactéries et des insectes.
- On en profitera pour améliorer la performance de l'outil « serre » par l'entretien, la réparation et la mise à niveau des équipements.
- C'est aussi le temps pour homogénéiser les conditions climatiques de culture : chauffage, ventilation, pénétration et réflexion de la lumière, CO₂, irrigation, etc.

Un bon nettoyage de fin de saison et une remise en culture ça doit se faire méthodiquement et avec beaucoup de rigueur. Voici quelques tableaux pour aider à penser à tout, ou presque...

La serre

Liste des opérations et des vérifications à faire en fin de saison	✓
Nettoyer le toit, les structures et le sol à l'eau ou avec de l'eau savonneuse. Utiliser votre système de pulvérisation ou un appareil de nettoyage à haute pression. Le secret c'est d'utiliser beaucoup d'eau, entre 30 à 50 litres par 100 m ² . Un bon nettoyage permet de dépoussiérer et d'éliminer les résidus de la culture précédente, les ravageurs et les pathogènes qui se cachent sur les structures.	
Après un nettoyage au savon, il est nécessaire de bien rincer avec de l'eau. Les résidus de savon peuvent réduire l'efficacité de certains désinfectants, comme les composés à base d'ammonium quaternaire.	
Pour de plus amples détails sur la désinfection des serres, vous pouvez consulter le bulletin d'information du Réseau d'Avertissements Phytosanitaires du MAPAQ ⁴¹ .	
Là où vous avez observé des problèmes d'air « stagnant » au cours de la dernière saison, ajoutez un ou des ventilateurs.	

⁴¹ Lambert, L. Le nettoyage et la désinfection des serres en fin de saison. Réseau d'avertissements phytosanitaires, MAPAQ. Réseau cultures en serres. [http://www.agrireseau.qc.ca/rap/?s\[0\]=0-938-1181-1183-1732&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/rap/?s[0]=0-938-1181-1183-1732&page=1)

Ajuster l'ouverture et la fermeture des ouvrants et étalonner les capteurs de position.	
Nettoyer et graisser les crémaillères, les ventilateurs, les moteurs, etc.	
Protéger les tuyaux de chauffage et les structures de serre contre la corrosion.	
Installer des bains pour la désinfection des pieds et des distributeurs de savon désinfectant pour les mains à toutes les entrées de la serre.	
Établir un protocole de protection sanitaire pour les employés et surtout pour les visiteurs.	
Détruire toutes les mauvaises herbes.	
Remettre les panneaux englués (pièges jaunes) qui servent à la détection des insectes. Si les thrips ont été un problème, installer aussi des pièges bleus.	
Inventorier tous les pesticides et s'assurer que le local de rangement rencontre toutes les règles de sécurité.	
Vérifier tous les équipements de protection (masques, respirateurs, habits, gants, cartouches et filtres) et s'assurer qu'ils sont parfaitement sécuritaires pour les utilisateurs.	

Les équipements et les outils de production

Liste des opérations et des vérifications à faire en fin de saison	√
Refaire l'alignement des fils de fer. Pour une serre standard de 6,4 mètres de large, l'espacement normal est entre 60 et 70 cm. L'important c'est que cet espacement soit uniforme partout dans la serre.	
Replacer et mettre au niveau les rails sur lesquels circulent les chariots, il ne faut jamais négliger la sécurité des travailleurs. C'est aussi important de bien les aligner au centre des rangs de tomates.	
Nettoyer et désinfecter tous les équipements : chariots de récoltes, chariots électriques, bacs de récolte, sérateurs, couteaux, etc.	
Faire l'entretien des chariots de récolte et des chariots électriques. S'assurer que la plateforme de travail est sécuritaire pour les travailleurs. Vérifier le système de contrôle : vitesse de roulement, direction, arrêt d'urgence, etc.	
Vérifier et ajuster les systèmes de pulvérisation : poudreuse, pulvérisateurs à faible volume (nébulisateur à froid et « Pulsfog ») ou système hydraulique.	
Étalonner et nettoyer les équipements de mesure : cages aspirantes, capteurs de T° air d'humidité, analyseur de CO ₂ , etc. Ne pas oublier le mât météo : capteur de lumière, girouette, anémomètre, détecteur de précipitation, etc.	

Système de chauffage et économie d'énergie

Liste des opérations et des vérifications à faire en fin de saison	√
Vérifier l'efficacité des bouilloires, des fournaies ou des échangeurs. Un réglage plus précis des brûleurs peut permettre une économie d'énergie qui est non négligeable.	
Uniformiser et équilibrer la distribution de la chaleur dans toute la serre. L'installation d'un ou de quelques ventilateurs de circulation peut être nécessaire. Idéalement, choisir un modèle de ventilateur qui a une bonne efficacité électrique.	
Éviter le gaspillage de l'énergie en isolant certains murs et tuyaux de chauffage. Si possible, afin d'uniformiser les conditions de croissance dans la serre, ajouter du chauffage dans les endroits où il y a un manque. Dans les endroits où il y en a trop, on corrige la situation en isolant certains tuyaux ou en appliquant une peinture spéciale qui coupe la radiation.	
Vérifier les pompes et les valves de mélange.	
Inspecter tout le réseau de chauffage afin d'éliminer les fuites d'eau chaude, surtout au niveau des raccords entre les tuyaux d'acier et les tuyaux flexibles.	
Peindre en blanc les tuyaux de chauffage avec une peinture spécialement conçue pour cet usage.	
Changer les gaines de chauffage qui sont en mauvais état.	
Peindre en blanc ou recouvrir avec un plastique blanc toutes les surfaces qui « absorbent » et qui pourraient plutôt réfléchir la lumière aux plantes.	

La station de pompage, les sondes et l'ordinateur de contrôle

Liste des opérations et des vérifications à faire en fin de saison	√
Vérifier et nettoyer le système de mélange des engrais, les bacs de solutions mères, les filtres, les pompes, les manomètres, les clapets antiretours, etc.	
Vérifier l'état de la tuyauterie et réparer toutes les fuites.	
Vérifier les électrovannes.	
Vérifier la source d'approvisionnement en eau : réseau municipal, puits, lac, etc. Profitez-en pour faire analyser la qualité minérale de l'eau, et si possible, faire évaluer la présence d'organismes pathogènes. En territoire agricole, pour les sources d'eaux de surface, une analyse des résidus d'herbicides est recommandée.	
Vérifier et étalonner les sondes de CE. Profitez-en pour faire l'étalonnage des appareils portables.	
Vérifier et étalonner les sondes de pH. La durée de vie utile de la plupart des sondes de pH est de 12 à 18 mois (à vérifier auprès de votre fournisseur).	
Vérifier les sondes et les détecteurs reliés à l'ordinateur de contrôle : capteur de rayonnement solaire, tensiomètres, balance lysimétrique, etc.	

Le réseau de distribution

Liste des opérations et des vérifications à faire en fin de saison	✓
Faire une première vidange à l'eau du réseau de distribution. Le but est d'évacuer les sédiments (organiques ou minérales) qui se sont déposés. La purge du réseau ne doit pas être faite via les gouteurs, mais plutôt par les extrémités. Il s'agit d'ouvrir les bouchons des fins de lignes du réseau de goutte-à-goutte.	
Traiter avec de l'eau de Javel, ou un autre produit aux caractéristiques semblables, les tubulures d'irrigation pour éliminer la matière organique (algues, bactéries et champignons). Cette opération doit être suivie par un bon rinçage à l'eau.	
Traiter les lignes avec de l'acide afin d'éliminer les dépôts minéraux. Encore une fois, cette opération doit être suivie d'un rinçage à l'eau. Il y a aussi d'autres produits sur le marché pour nettoyer les lignes d'irrigation. Renseignez-vous auprès de votre fournisseur.	
Avant de faire le nettoyage de son réseau de distribution, il est très important de prendre certaines précautions pour ne pas endommager certaines composantes : électrovannes, filtres, régulateurs de pression, manomètres, sondes de pH et de CE. Par exemple, certains gouteurs à clapet (autorégulant) peuvent être endommagés par le traitement à l'acide ou à l'eau de Javel.	
Nettoyer et désinfecter l'extérieur des tuyaux d'irrigation. Ne pas oublier la désinfection des piquets qui sont placés dans le substrat de culture, surtout si vous avez eu des problèmes de chancre bactérien, de <i>Pythium</i> ou de <i>Fusarium</i> .	
Nettoyer et vérifier toutes les parties des sous-stations : électrovannes, régulateur de pression, filtre et manomètres	
Nettoyer et améliorer au besoin les bacs servant à la collecte et à la mesure du drainage.	
Nettoyer et corriger l'alignement des gouttières de culture. Corriger les problèmes de drainage.	
Éliminer les endroits où l'eau s'accumule.	
Remplacer les gouteurs qui fuient et ceux qui sont bloqués. Pendant le mouillage des sacs de culture, c'est le meilleur moment pour détecter les gouteurs qui ont des défauts de fonctionnement.	

ANNEXE 4

Comprendre l'hygrométrie en serre

Le cycle de l'eau dans une serre

La serre étant une construction fermée destinée à la culture de plantes en exploitant le rayonnement solaire, l'eau qui entre de ce système biologique ne provient pas de la pluie. Sans système de brumisation, l'eau que l'on retrouve dans l'air d'une serre provient presque uniquement de l'activité des plantes, surtout pendant les périodes où l'aération des serres est limitée, c'est-à-dire lorsque la température de l'air à l'extérieur est inférieure à 15 °C. Environ 90 % de l'eau qui est consommée par un plant de tomate est transpirée dans l'air de la serre. Seulement 10 % de l'eau qui est consommée est conservée par la plante pour servir à sa croissance.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la transpiration, mais les deux principaux sont : le rayonnement solaire global et le déficit hydrique de l'air. L'énergie lumineuse étant de loin le facteur le plus important. La relation qui a été établie et qui fait consensus, c'est que pour chaque 100 J/cm² de rayonnement global reçus, une culture mature de tomates consomme au moins 200 ml/m² de plancher de serre. Le taux de transpiration des plants sera accéléré ou ralenti selon que l'air sera plus ou moins saturé en eau (déficit hydrique de l'air). Pour une journée où la sommation du rayonnement global serait de 1 500 J/cm², une culture mature devrait consommer en moyenne 3 000 ml/m² et transpirer autour de 2 700 ml/m². Pour une surface de 1 000 m² de culture, ça représente un apport d'eau de 2,7 m³ d'eau dans l'air de la serre.

Le déficit hydrique

L'hygrométrie exprime le taux d'humidité de l'air, ou encore la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Nous utilisons couramment pour exprimer le taux d'humidité de l'air le concept d'humidité relative qui est évalué en pourcentage. Pour une température donnée, l'humidité relative c'est la mesure en pourcentage de la vapeur d'eau contenue dans l'air comparé à la quantité totale qui pourrait y être présente. Le terme « relative » est utilisé pour indiquer que c'est une mesure de la capacité à contenir de la vapeur d'eau pour une température donnée. L'inconvénient d'utiliser ce concept, c'est que pour une même valeur d'humidité relative le contenu réel en eau de l'air (humidité absolue) varie selon la température. Par exemple : pour 1 kg d'air à 80 % d'humidité relative, le contenu en eau passe de 8,3 à 15,8 g d'eau/kg d'air sec, lorsque la température passe de 15 à 25 °C (tableau 1). L'humidité absolue est le rapport du poids de la vapeur d'eau contenue dans un kg d'air sec.

Pour bien connaître le contenu en eau de l'air, il faut à la fois tenir compte de la température et du taux d'humidité relative. C'est pour cette raison, qu'en conduite climatique de serre, on utilise plutôt le concept du déficit de pression de vapeur, ou du déficit hydrique. Le déficit de pression de vapeur mesure la différence entre la quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans de l'air à 100 % de saturation, pour une température donnée, à la quantité de vapeur d'eau qui est contenue réellement dans l'air. Cette différence est exprimée en unité de pression (millibars ou kilo pascal) ou en unité de déficit hydrique (g d'eau par m³ d'air sec).

Dans la cavité sous stomatique d'une feuille de tomate, la quantité de vapeur d'eau est toujours à saturation, donc le déficit de pression de vapeur est de 0 mbar. C'est le différentiel entre l'air ambiant et l'intérieur de la feuille qui crée le mouvement de l'eau, donc du processus d'évapotranspiration. Pour la culture de la tomate en serre, le déficit de pression de vapeur doit être maintenu entre 4 et 8 mbar afin d'optimiser la productivité. Sur le Tableau 2, cette zone optimale est représentée par les valeurs de la portion blanche.

Tableau 1. Humidité absolue de l'air pour un taux d'humidité relative fixé à 80 % pour trois températures de l'air différentes (15-20-25 °C).

Humidité relative (%)	Température (°C)	Humidité absolue (g eau/kg air sec)
80	15	8,3
80	20	11,6
80	25	15,8

Tableau 2. Déficit de pression de vapeur de l'air pour différents taux d'humidité relative et différente température de l'air et zone optimale pour la tomate de serre (zone blanche). Source : OMAFRA, 2000. Growing Greenhouse Vegetables. Publication 371.

TEMP °C	RH									
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
15.0	8.5	7.7	6.8	6.0	5.1	4.3	3.4	2.6	1.7	0.9
16.0	9.1	8.2	7.3	6.4	5.5	4.6	3.6	2.7	1.8	0.9
17.0	9.7	8.7	7.8	6.8	5.8	7.5	3.9	2.9	1.9	1.0
18.0	10.3	9.3	8.3	7.2	6.2	5.2	4.1	3.1	2.1	1.0
19.0	11.0	9.9	8.8	7.7	6.6	5.5	4.4	3.3	2.2	1.1
20.0	11.7	10.5	9.4	8.2	7.0	5.9	4.7	3.5	2.3	1.2
21.0	12.4	11.9	9.9	8.7	7.5	6.2	5.0	3.7	2.5	1.2
22.0	13.2	11.9	10.6	9.3	7.9	6.6	5.3	4.0	2.6	1.3
23.0	14.1	12.6	11.2	9.8	8.4	7.0	5.6	4.2	2.8	1.4
24.0	14.9	13.4	11.9	10.4	9.0	7.5	6.0	4.5	3.0	1.5
25.0	15.8	14.3	12.7	11.1	9.5	7.9	6.3	4.8	3.2	1.6
26.0	16.8	15.1	13.4	11.8	10.1	8.4	6.7	5.0	3.4	1.7
27.0				12.5	10.7	8.9	7.1	5.4	3.6	1.8
28.0				13.2	11.3	9.5	7.6	5.7	3.8	1.9
29.0					12.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0
30.0					12.7	10.6	8.5	6.4	4.2	2.1

La gestion de l'hygrométrie en serre

La transpiration est un processus vital qui permet à la tomate de maintenir sa température foliaire à un niveau favorable pour l'activité photochimique, c'est-à-dire pour la photosynthèse. Sans le processus de la transpiration, la photosynthèse n'est pas possible, donc pas de croissance possible. Lors de la transpiration, l'eau passe de la feuille à l'air par les stomates et c'est par ces mêmes ouvertures que migre le CO₂ de l'air vers les feuilles. Sans CO₂, la photosynthèse ne peut pas fonctionner. La transpiration est la base du processus de la transformation de l'énergie solaire en sucres, via la photosynthèse. Ce sont ces sucres qui seront utilisés par le plant pour sa croissance et la production de fruits. De plus, la transpiration permet la montée et la distribution à travers la plante de plusieurs éléments minéraux comme le calcium.

Sur une base quotidienne, le rôle du serriculteur consiste à conduire le climat de la serre pour stimuler la transpiration des plants de tomate afin de maximiser la productivité, et à contrôler la quantité d'eau dans l'air de la serre. L'eau qui se retrouve dans l'air de la serre doit être évacuée pour permettre le maintien de conditions climatiques favorables à la transpiration.

En hiver, les plants produisent peu de vapeur d'eau dans l'air par jour (environ 1,0 litre/m²), ce qui réduit de beaucoup le besoin de contrôler l'humidité. Le taux de transpiration augmente au printemps (2 à 3 litres/m²) et en été (3 à 5 litres/m²), ce qui demande plus d'effort pour contrôler l'humidité. La gestion de l'humidité dans l'air se fait par deux moyens : 1- la condensation, et/ou 2- la ventilation et le chauffage. Selon les saisons, l'un ou l'autre de ces moyens sera utilisé (figure 1). Le mode de gestion de l'hygrométrie change, parce que les conditions climatiques à l'extérieur des serres en hiver, au printemps et en automne limitent la capacité de ventilation. Les facteurs externes comme la température, le vent et les précipitations affectent la capacité de ventilation d'une serre (tableau 3).

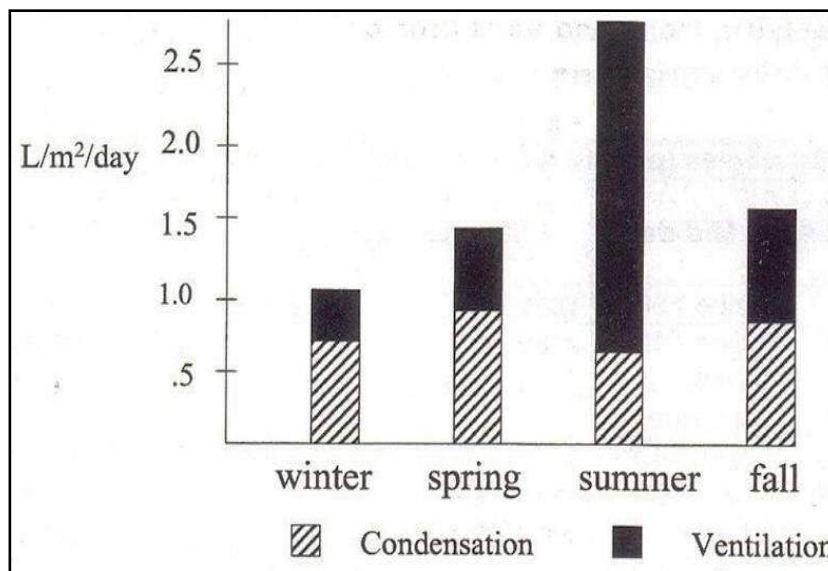


Figure 1. Variation saisonnière du mode de contrôle de l'humidité dans les serres, soit par condensation ou soit par ventilation. Source : Growing Greenhouse Peppers, BCGGA, BCMAFF, 2005.

Tableau 3. Effet des changements climatiques saisonniers sur le contrôle de l'humidité et la capacité de ventilation d'une serre.

Saisons	Méthode de contrôle de l'humidité		Facteurs extérieurs qui limitent la ventilation		
	Méthode principale	Ventilation	Température	Vitesse du vent	Précipitation
		Ouverture moyenne des panneaux de ventilation			
Hiver	Condensation	1 à 5 %	< 8 °C	+ 2 m/sec	Neige ou pluie
Printemps	Condensation et ventilation	5 à 15 %	< 12 °C	+ 2 m/sec	Neige ou pluie
Été	Ventilation	50 à 100 %	<15 °C	+ 5 m/sec	Pluie
Automne	Condensation et ventilation	5 à 15 %	< 12 °C	+ 2 m/sec	Neige ou pluie

Lorsque la température extérieure est inférieure à 15 °C, l'aération d'une serre doit se faire doucement avec un très petit pourcentage d'ouverture des panneaux de ventilation. Une trop grande ouverture, ou une ouverture trop rapide, provoque ce que l'on appelle en langage de conduite de culture, de la « ventilation froide ». L'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est tellement grand, disons 20 °C à l'intérieur versus 15 °C et moins à l'extérieur, que l'air froid qui entre rapidement dans la serre provoque une chute d'air froid qui tombe directement sur les plants. Ce courant d'air froid provoque une brusque baisse de température de la plante, ce qui va entraîner un arrêt de la transpiration, donc de l'activité des plantes. L'excès de ventilation par temps froid va aussi créer un climat de serre inégal. Il y aura formation de plusieurs petites zones avec un climat différent. Certaines zones seront plus fraîches et plus sèches, tandis que d'autres seront plutôt humides et chaudes. De plus, l'air froid contient beaucoup moins d'eau (g d'eau par kg d'air sec) en terme d'humidité absolue. Lorsque le déficit de pression de vapeur à l'extérieur est plus grand que 8 mbar, la ventilation est aussi limitée.

La ventilation, ou l'aération d'une serre permet d'évacuer de l'air chaud et chargé d'humidité, et de le remplacer par de l'air extérieur qui est plus frais, ou encore, par de l'air à la même température, mais qui contient moins d'humidité. Cet apport d'air de l'extérieur peut être quantifié, c'est le coefficient ou le taux de renouvellement d'air. Une serre ce n'est pas une structure complètement étanche. Le coefficient de renouvellement d'air d'une serre fermée (serre avec un recouvrement de deux films plastiques) se situe entre 0,5 à 1,5 en $\text{m}^3/\text{m}^3\text{-h}$, selon la qualité de la serre, de la force et de la direction des vents⁴². Le taux de renouvellement est aussi influencé par le pourcentage d'ouverture des panneaux de ventilation. Le tableau 4 présente une estimation du taux de renouvellement d'air à l'heure basée sur l'expérience de quelques spécialistes du Québec et sur le guide de construction de serres du CTIFL. Il y a aussi d'autres facteurs qui influencent le taux de renouvellement de l'air d'une serre. Lorsqu'il fait très froid et lorsque le temps est venteux, ce taux est nettement augmenté. Plus ce taux est élevé et plus il est facile de déshumidifier une serre.

Pour déshumidifier une serre, il faut donc remplacer l'air ambiant trop humide, par de l'air extérieur plus sec. De l'air à 20 °C avec 80 % d'humidité relative contient 11,6 g d'eau/kg d'air (humidité absolue) (figure 2). Si à l'extérieur, il fait 15 °C avec 50 % d'humidité relative, l'air contient 5,5 g d'eau/kg d'air. Si cet air est chauffé à 20 °C, il faudra qu'il reprenne environ 6 g d'eau/kg d'air (11,6 - 5,5) pour atteindre le taux de 80 % en humidité relative. Le remplacement de l'air de la serre par de l'air extérieur et le chauffage de cet air permet d'assécher la serre.

Tableau 4. Estimation du taux de renouvellement d'air à l'heure pour une serre avec un ratio d'ouverture de l'ordre de 14 %. Cette approximation a été faite pour un vent faible qui ne souffle pas directement en face des panneaux de ventilation de la serre. Cette approximation est pour une ventilation en toiture et une hauteur au chéneau de 4,5 mètres et plus.

Ouverture des panneaux de ventilation en cm	Taux de renouvellement d'air à l'heure ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{-h}$)
1,0	2 à 3
10,0	5 à 10
30,0	20 à 30
50,0	30 à 40
90,0	40 à 60

⁴² : Wacquant, C. 2000. La construction des serres et abris. CTIFL, France, 207 pages.

La condensation est aussi un phénomène qui permet de contrôler l'hygrométrie en serre. La condensation de la vapeur d'eau sur une paroi est un phénomène physique qui se produit lorsqu'une masse d'air à un pourcentage donné d'humidité relative et à une température donnée atteint sa température de point de rosée. Pour expliquer ce phénomène, il faut utiliser le diagramme de Mollier. Prenons une masse d'air à 20 °C ayant un pourcentage de 80 % en humidité relative. Il y aura condensation si cet air entre en contact avec une paroi qui a une température de 16,5 °C et moins (figure 2).

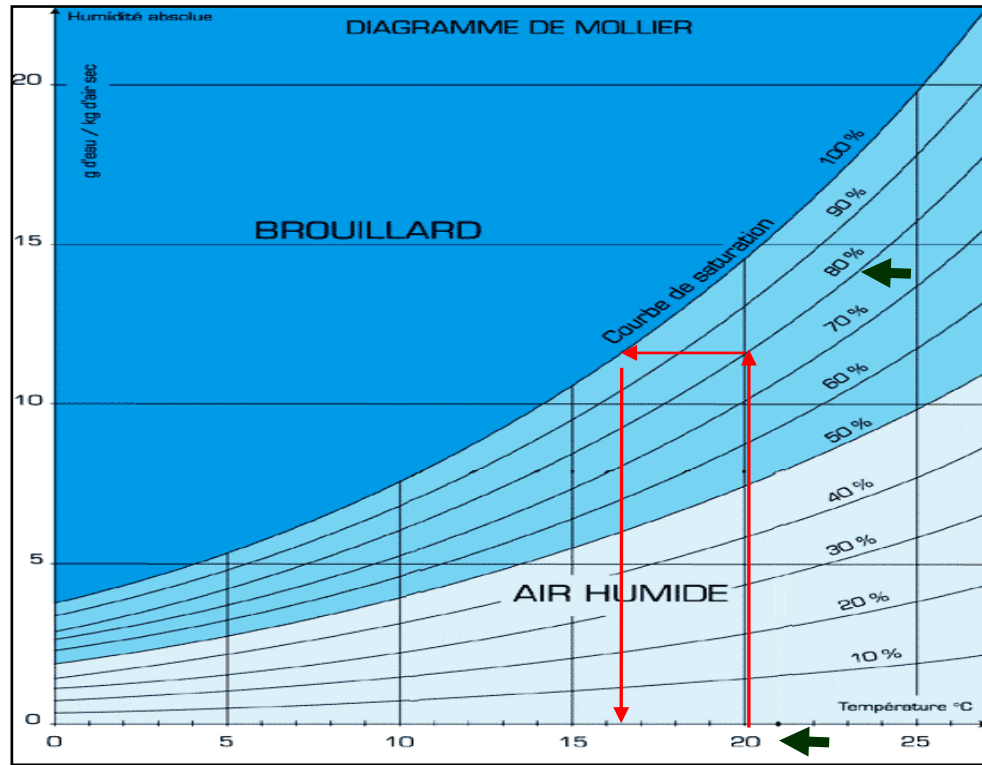


Figure 2. Diagramme de Mollier. Température de point de rosée = ~ 16,5 °C.

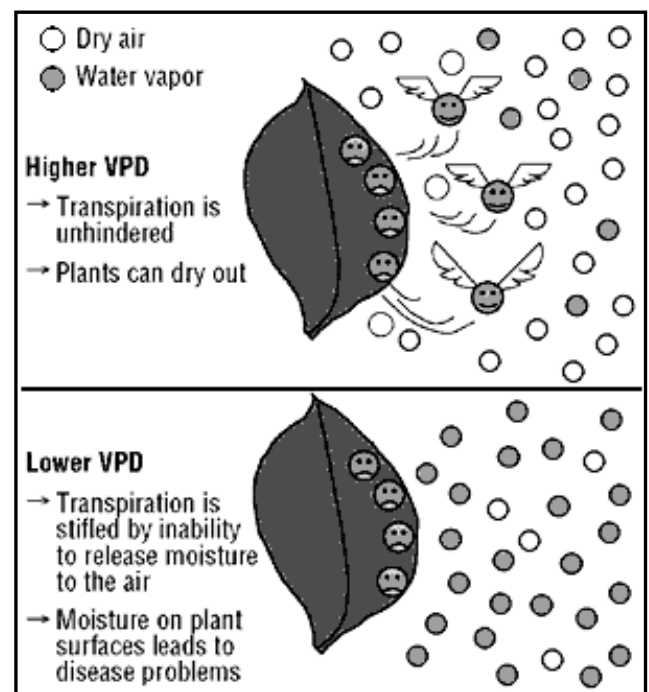
L'air qui est soufflé entre les deux films plastiques de recouvrement du toit des serres est capté à l'extérieur de la serre. Il y a deux raisons qui expliquent cette façon de faire : 1- éviter la formation de condensation entre les deux films plastiques; 2- favoriser la condensation sur le film à l'intérieur de la serre pour aider au contrôle de l'humidité. L'air compris entre les deux films n'est pas stagnant, mais il est constamment renouvelé, car il a des ouvertures qui laissent s'échapper de l'air. Il y a trois types d'ouvertures : 1- évent de contrôle de la pression entre les deux films; 2- comme ces films ne sont pas soudés ensemble, il y a des pertes au niveau des joints; 3- perforations accidentelles d'un des films. Comme cet air est constamment renouvelé, la température du film intérieur de la serre est fortement influencée par la température à l'extérieur de la serre, c'est ce qui explique qu'au Québec pendant trois saisons, l'hiver, le printemps et l'automne, le phénomène de condensation dans une serre est important.

L'hygrométrie de l'air dans une serre résulte de l'activité biologique de la culture de tomates. Plusieurs facteurs peuvent influencer la transpiration, mais les deux principaux sont : le rayonnement solaire global et le déficit hydrique de l'air. Pour chaque 100 J/cm² de rayonnement global reçu, une culture

mature de tomates consomme au moins 200 ml/m² de plancher de serre. Environ 90 % de l'eau qui est consommée par un plant de tomate est évacuée dans l'air de la serre par la transpiration.

Pour bien connaître le contenu en eau de l'air, il faut à la fois tenir compte de la température et du taux d'humidité relative. C'est pour cette raison qu'en conduite climatique de serre, on utilise plutôt le concept de déficit de pression de vapeur (DPV). Le DPV donne la différence entre la quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans de l'air à 100 % de saturation, comme dans une feuille de tomate, et la quantité de vapeur d'eau qui est réellement contenue dans l'air de la serre. Lorsque le DPV est élevé « higher VPD », c'est-à-dire lorsque l'air est plutôt sec, l'eau contenue dans les feuilles peut être évacuée librement. Le processus d'évapotranspiration est alors facile pour la plante. À l'inverse, lorsque le DPV est faible « lower VPD », la transpiration des plantes est entravée. Ces conditions entraînent une forte pression dans la plante (pression racinaire) et cette situation est favorable à l'apparition de plusieurs problèmes : défauts de qualité des fruits et maladies fongiques. La figure ci-contre provient de : Pringer et Ling, 2001. Greenhouse Condensation Control : Understanding and Using Vapor Pressure Deficit (VPD). FactSheet AEX-804-01, Ohio State University.

Pour la culture de la tomate en serre, le déficit de pression de vapeur doit être maintenu entre 4 et 8 mbar afin d'optimiser la productivité. Pour une température donnée, le taux de transpiration des plants sera plus grand à un DPV de 6 mbar, comparativement à un DPV de 3 mbar. Cette différence de la quantité d'eau dans l'air versus une feuille de tomate (100 % de saturation) peut aussi être exprimée en terme de déficit hydrique (DH). Le DH est exprimé en g d'eau par m³ d'air sec (figure 3). Une valeur de 4,0 g/m³, signifie qu'il manque 4,0 g de vapeur d'eau dans 1,0 m³ d'air pour qu'il soit à 100 % de saturation. Plus le DH est élevé et plus l'air est sec. La zone de confort pour la culture de la tomate se situe entre 3,0 et 7,0 g/m³, ce qui est représenté par la zone colorée en vert de la figure 3. Lorsque l'on parle de conduite climatique en serre, la table de DH est l'outil le plus utilisé.



Sur une base quotidienne, le rôle du serriste consiste à conduire le climat de la serre pour stimuler la transpiration des plants de tomate afin de maximiser la productivité, et à contrôler la quantité d'eau dans l'air de la serre. L'eau qui se retrouve dans l'air de la serre doit être évacuée pour permettre le maintien de conditions climatiques favorables à la transpiration. Le contrôle de l'humidité dans l'air se fait par deux moyens : 1- la condensation, ou 2- la ventilation et le chauffage. Selon les saisons, l'un ou l'autre de ces moyens sera utilisé. Le contrôle de l'humidité en serre n'est pas une opération simple, c'est un processus complexe qui demande une connaissance empirique de certaines lois de la thermodynamique. De plus, il faut avoir une bonne compréhension de la bioclimatologie et posséder une bonne expérience de conduite climatique en serre.

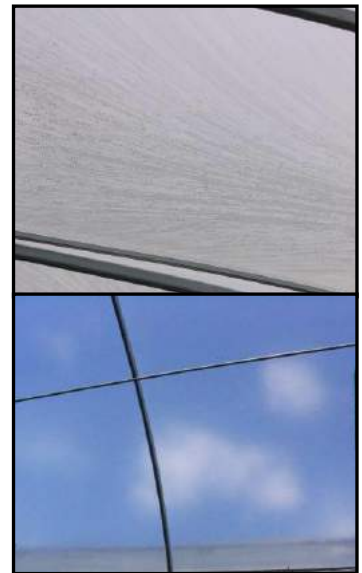
Température °C	Pourcentage en humidité relative (%)													
	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
15	0,6	1,3	1,9	2,6	3,2	3,9	4,5	5,2	5,8	6,5	7,1	7,7	8,4	9
16	0,7	1,4	2,1	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,5	8,2	8,9	9,6
17	0,7	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,5	7,3	8	8,7	9,4	10,2
18	0,8	1,5	2,3	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10	10,8
19	0,8	1,6	2,4	3,3	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,2	9	9,8	10,6	11,4
20	0,9	1,7	2,6	3,5	4,3	5,2	6,1	6,9	7,8	8,7	9,5	10,4	11,2	12,1
21	0,9	1,8	2,8	3,7	4,6	5,5	6,4	7,4	8,3	9,2	10,1	11	12	12,9
22	1	2	2,9	3,9	4,9	5,9	6,8	7,8	8,8	9,8	10,7	11,7	12,7	13,7
23	1	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,2	8,2	9,3	10,3	11,3	12,4	13,4	14,4
24	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,5	7,6	8,7	9,8	10,9	12	13,1	14,2	15,3
25	1,2	2,3	3,5	4,6	5,8	6,9	8,1	9,2	10,4	11,6	12,7	13,9	15	16,2
26	1,2	2,4	3,7	4,9	6,1	7,3	8,5	9,8	11	12,2	13,4	14,6	15,9	17,1
27	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,7	9	10,3	11,6	12,9	14,2	15,5	16,8	18,1
28	1,4	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	10,9	12,3	13,7	15	16,4	17,7	19,1
29	1,4	2,9	4,3	5,8	7,2	8,6	10,1	11,5	13	14,4	15,8	17,3	18,7	20,2
30	1,5	3	4,6	6,1	7,6	9,1	10,6	12,2	13,7	15,2	16,7	18,2	19,8	21,3
31	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16,1	17,7	19,3	20,9	22,5
32	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17	18,6	20,3	22	23,7
33	1,8	3,6	5,4	7,1	8,9	10,7	12,5	14,3	16,1	17,9	19,6	21,4	23,2	25

Figure 3. Table de déficit hydrique (g d'eau par m³ d'air). La zone de confort pour la culture de la tomate se situe entre 3,0 et 7,0 g/m³. Cette zone est indiquée en vert sur la table. Source : <http://www.cultilene.nl>

Perte de lumière causée par la formation de gouttes d'eau sur les plastiques de serre

Normalement, toute la vapeur d'eau qui va se condenser sur un film plastique contenant un agent antibuée ou antigoutte va former un « microfilm » d'eau qui va suivre la pente du toit et se rendre au chéneau de la serre pour être évacuée à l'extérieur de la serre, via une petite gouttière de condensation. Un film plastique antibuée contient un additif qui diminue la tension de surface entre le plastique et l'eau, ce qui empêche la formation de gouttelettes. Selon la firme Klerk's Plastic Products Manufacturing, inc., il faut une pente minimale de 3 % afin d'éviter l'égouttement. L'idéal c'est que la plus petite pente du toit de la serre soit supérieure à 15°. S'il n'y a pas d'agent antibuée, ou si le traitement a perdu son efficacité, la vapeur d'eau qui ira se condenser sur le plastique va former des gouttes. La présence de gouttes d'eau qui restent sur le plastique, fait en sorte qu'il n'y a plus de « place » pour que la vapeur d'eau contenue dans l'air puisse s'y condenser de nouveau. Le phénomène de déshumidification est alors interrompu. L'air de la serre va demeurer plus humide (DH faible) et la transpiration des plants sera entravée. De plus, ces gouttes vont après un certain temps tomber sur les plantes et créer un effet de « pluie » froide qui va affecter la culture qui se trouve dans la serre. L'égouttement des films plastique va entraîner des problèmes de maladies fongiques comme la moisissure grise et le blanc.

La formation de gouttes d'eau sur les films plastiques cause une diminution de la pénétration de la lumière dans la serre. La figure 4 montre schématiquement l'explication du phénomène. Pour une même quantité d'eau sur un film plastique, si l'eau forme une goutte, une partie de la lumière sera réfléchiée. Par contre, si l'eau se répartit en une mince couche sur le film, la lumière passe au travers sans subir de réflexion. Ce fait a été rapporté dans la littérature scientifique et technique à plusieurs reprises. Selon ses études spécialisées, la réduction de la pénétration de la lumière se situe entre 15 % et 40 %. Dans le cadre de la journée : « Activités en serriculture 2004 », les trois conférenciers invités à parler des plastiques de recouvrement ont été unanimes à dire que la présence de gouttes d'eau sur un plastique de serre entraîne une baisse



importante de la pénétration de la lumière (Jean-Marc Boudreau, professeur à l'Institut de technologie agroalimentaire de Ste-Hyacinthe; Sam Andrews, conseiller technique pour la firme AT Plastics inc.;

Martin Aubé, d. t.a., représentant, Les Industries Harnois inc.). Ces spécialistes ont précisé que cette perte pouvait être évaluée entre 15 et 30 %, selon les situations.

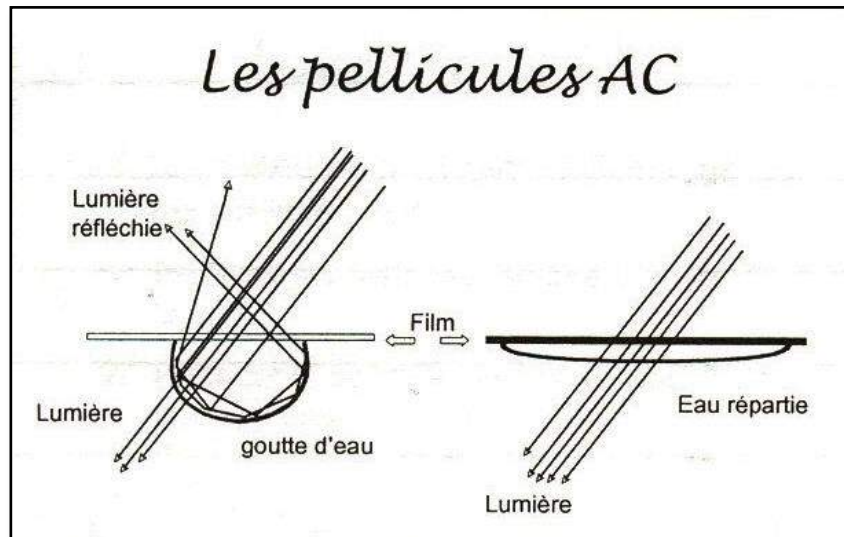


Figure 4. Schéma illustrant l'effet d'une goutte d'eau sur la pénétration de la lumière. Pellicule AC = film plastique antibuée. Source : Andrews, 2004. Tendances en polyéthylènes. Activités en serriculture 2004, CRAAQ.

ANNEXE 5

Le gaz carbonique en serre

Plusieurs producteurs savent que l'enrichissement carboné peut augmenter la productivité de la culture de tomate en serre. Par contre, peu connaissent les effets concrets du CO₂ sur les plants et peu sont en mesure de savoir si cet enrichissement carboné est adapté à leur situation dans une optique de rentabilité. L'objectif de ce dossier, qui sera présenté en quatre volets, est de répondre à la plupart de ces interrogations.

La première partie concernera les aspects théoriques du CO₂ ainsi que son rôle dans le processus de la photosynthèse. La deuxième partie aura trait aux effets spécifiques des niveaux de gaz carbonique sur la culture de la tomate sous serre. La troisième partie sera une description des différentes méthodes d'enrichissement carboné et la quatrième partie portera sur les équipements et les coûts correspondants à un système de gestion du CO₂.



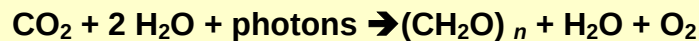
Qu'est-ce que le CO₂?

Le dioxyde de carbone, aussi appelé « gaz carbonique », est un composé chimique constitué d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène (d'où sa formule brute CO₂). Ce gaz est présent de façon tout à fait naturelle dans l'atmosphère dans une proportion approximative de 0,038 %, soit 380 ppm. C'est un gaz essentiel pour le processus de la photosynthèse

Qu'est-ce que la photosynthèse?

La photosynthèse est un processus bioénergétique se produisant dans les cellules chlorophylliennes (situées dans les chloroplastes). Ce processus permet à une plante de tirer profit de l'énergie solaire afin de la convertir en énergie chimique (appelé phase claire). Par la suite, la plante utilise cette énergie chimique afin de synthétiser des glucides, à partir du CO₂, pour la formation de ses tissus (via le cycle de Calvin).

⇒ L'équation correspondant à ce processus est la suivante :



Dioxyde de carbone + Eau + Énergie lumineuse → Glucides + Oxygène + Eau

Quel rôle le CO₂ joue-t-il durant la photosynthèse?

Comme mentionné dans l'équation ci-dessus, on observe que les trois facteurs nécessaires à la photosynthèse sont l'eau, le CO₂ et la lumière. Le taux de photosynthèse sera déterminé par le facteur le plus faible des trois. C'est seulement en augmentant le facteur limitant qu'il sera possible d'augmenter l'activité photosynthétique d'une plante. Sauf en conditions hivernales, le CO₂ est généralement le facteur limitant en serre.

La température foliaire a également un impact au niveau des taux de photosynthèse. En effet, la photosynthèse est optimale entre 15 et 25 °C. Elle diminue lorsque les températures foliaires sont inférieures à 15 °C en raison du ralentissement physiologique de la plante. La réduction des niveaux photosynthétiques de plantes exposées à des températures foliaires excédant les 25 °C, s'explique non pas en raison d'une baisse de la photosynthèse, mais bien d'une augmentation de la photorespiration⁴³. Dans l'intervalle 15 et 25 °C, si les niveaux lumineux et de CO₂ sont faibles, alors les températures foliaires optimales avoisineront les 15 °C tandis que si les niveaux lumineux et de CO₂ sont élevés, alors les températures foliaires optimales seront de l'ordre de 25 °C.

De quelle façon le CO₂ est-il absorbé par la plante?

Pour bien comprendre la migration du CO₂ vers les cellules chlorophylliennes, regardons un peu comment ça se passe en fonction de l'anatomie d'une feuille (figure 1).

- En premier, l'entrée du CO₂ s'effectue via les stomates (7) des feuilles.
- À ce moment, le CO₂ parvient dans la chambre sous-stomatique (6).
- Par la suite, le CO₂ est dissout dans l'eau contenue dans les lacunes intercellulaires (5).

⁴³ La photorespiration est un processus qui engendre la consommation d'oxygène et le rejet de CO₂. Ce phénomène nécessite le prélèvement de glucides accumulés dans la plante provoquant une perte d'énergie pour la plante.

- Finalement, il se rend jusqu'aux chloroplastes (lieu de la photosynthèse) contenus dans les différents parenchymes (3 et 4).
- 2 points importants à souligner :
 - ✓ La cuticule recouvrant les épidermes supérieur et inférieur est pratiquement imperméable au CO_2 , ainsi qu'à l'eau, et c'est pour cette raison que le CO_2 pénètre presque exclusivement par les stomates.
 - ✓ Les lacunes intercellulaires dans la feuille sont saturées avec de la vapeur d'eau, ce qui fait que l'entrée d'une molécule de CO_2 résulte obligatoirement avec la perte d'une molécule de vapeur d'eau. En d'autres termes, il faut que la transpiration soit active pour que le CO_2 puisse être absorbé par les plantes.

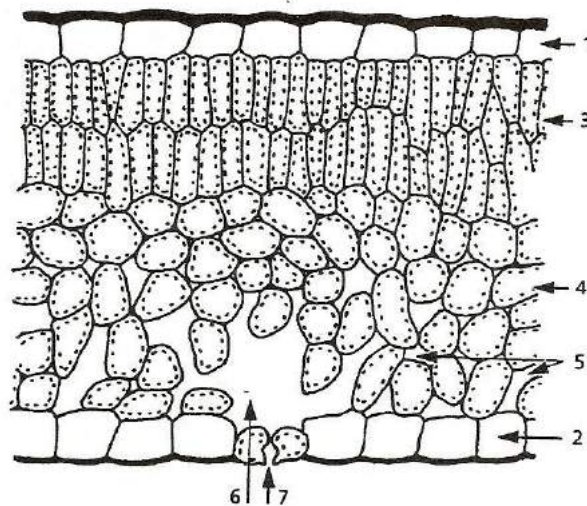


Figure 1 : Anatomie structurale d'une feuille. Source : Raynal-Roques, A. 1994. La botanique redécouverte. INRA, France, 511 pages.

1. Épiderme supérieur : recouvert d'une cuticule épaisse, exposé au vent et soleil
2. Épiderme inférieur : recouvert d'une cuticule peu épaisse, habituellement à l'ombre
3. Parenchyme palissadique : riche en chloroplastes, lieu de la photosynthèse
4. Parenchyme lacuneux : cellules rondes moins serrées, contient moins de chloroplastes
5. Lacunes intercellulaires : sert à entreposer les gaz échangés entre la feuille et l'atmosphère
6. Chambre sous-stomatique : cavité dans laquelle aboutit le réseau de lacunes
7. Stomate : orifice de petite taille qui permet les échanges gazeux entre la plante et l'air ambiant (O_2 , CO_2 et H_2O) et qui permet la régulation de la pression osmotique

Puisque l'ouverture des stomates est une condition « sine qua non » à la consommation de CO_2 d'une plante, voyons maintenant en détail les facteurs favorisant l'ouverture ou la fermeture des stomates. Lorsque l'on pense enrichissement carboné, il faut aussi penser aux facteurs climatiques qui favorisent l'absorption par les plantes.

Facteurs favorisant l'ouverture des stomates

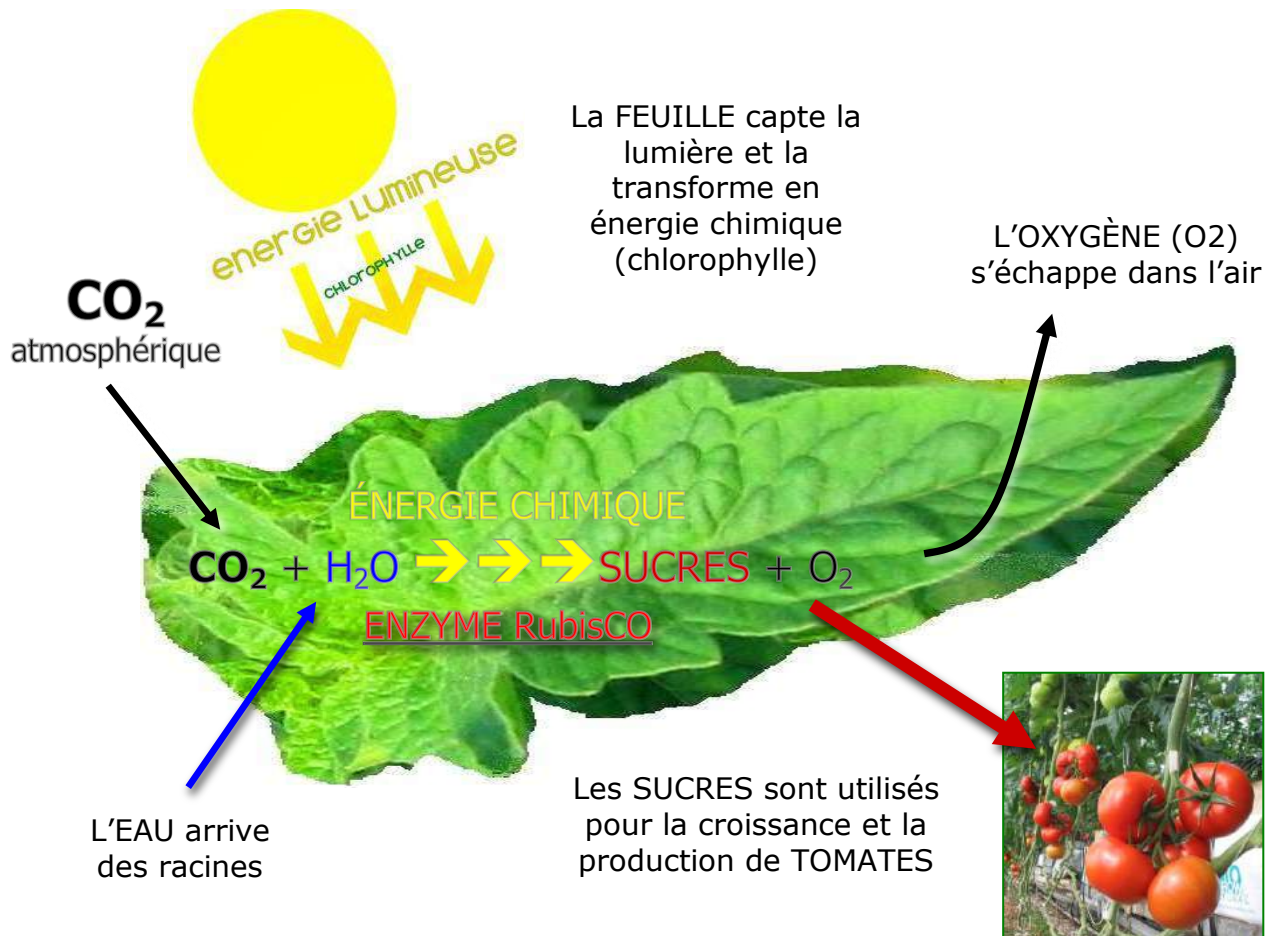
- ⇒ Bon niveau d'hygrométrie et transpiration active.
- ⇒ Diminution de la concentration en CO_2 dans la chambre sous-stomatique, amenée par une photosynthèse active.
- ⇒ Concentrations de CO_2 atmosphérique élevées.
- ⇒ Bonne intensité lumineuse.

Facteurs favorisant la fermeture des stomates

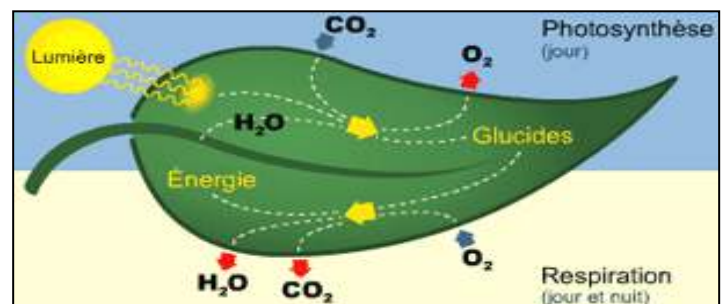
- ⇒ Niveau d'hygrométrie élevé et transpiration faible.
- ⇒ Augmentation de la concentration en CO_2 dans la chambre sous-stomatique, amenée par une photorespiration active.
- ⇒ Déplacement d'air ou vent fort, ce qui fait fermer les stomates pour protéger la plante contre le dessèchement.
- ⇒ Apport en eau insuffisant et stress hydrique (racines synthétisent de l'acide abscissique qui à la propriété de faire fermer les stomates).
- ⇒ Températures extrêmes (trop chaud ou trop froid).
- ⇒ Concentrations de CO_2 atmosphérique faibles.

Comme il a été mentionné précédemment, le jour ou pendant la période éclairée, les plants consomment le CO_2 de l'air et par le processus de la photosynthèse ils produisent les sucres qui permettent la production de biomasse. La **RubisCO** (ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase-oxygénase) est l'enzyme principale qui permet la transformation du CO_2 en sucres dans le cycle de Calvin⁴⁴. Elle représente plus de 50 % des protéines solubles contenues dans une feuille. Cependant, la RubisCO n'est pas exclusive au CO_2 (photosynthèse), elle est aussi capable de réagir avec l'oxygène (photorespiration).

⁴⁴ Le cycle de Calvin est une série de réactions biochimiques qui ont lieu dans les chloroplastes qui sont dans les cellules chlorophylliennes des feuilles. Cet ensemble de réactions est aussi nommé la fixation du carbone.



La respiration est la réaction contraire de la photosynthèse. Elle consomme l'oxygène (oxydation des sucres) et libère le CO₂ dans l'air. Lorsque ce processus se fait le jour, on parle alors de photorespiration.



Variation des niveaux de CO₂ dans une serre

La concentration de CO₂ atmosphérique est de l'ordre de 380 ppm. Normalement, c'est la teneur en CO₂ que l'on devrait mesurer dans une serre qui est bien ventilée. Dans une serre où il n'y a pas d'enrichissement carboné, la concentration de CO₂ va se mettre à monter durant la période d'obscurité (respiration) et elle va se mettre à descendre durant la période de clarté (photosynthèse). Bien

entendu, le taux de ventilation de la serre va avoir un grand impact sur l'importance de ces variations. La figure 2 montre l'évolution de la teneur en CO₂ dans l'air d'une serre sans enrichissement carboné.

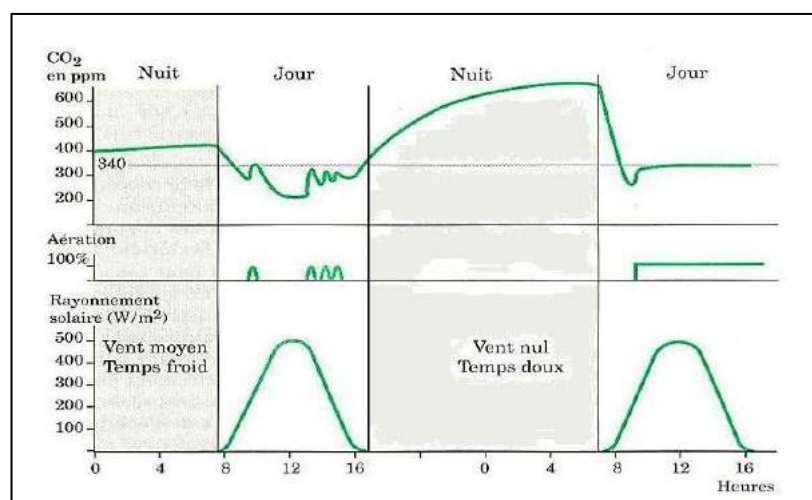


Figure 2 : Concentration de CO₂ à l'intérieur d'une serre en culture de tomate, non enrichie, au cours de deux journées, en fonction de l'aération et du rayonnement solaire. Source : Wacquant, C. 1995. *Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol*. CTIFL, France, 127 pages.

Dans cet exemple, les niveaux de CO₂ durant la nuit ont été de l'ordre de 400 à un peu plus de 600 ppm. Il n'est pas rare de voir des niveaux un peu plus élevés que 600 ppm. Les concentrations les plus basses, environ 200 ppm, ont été mesurées durant la période de haute intensité lumineuse et de ventilation très faible (première journée). Les niveaux de gaz carbonique de la deuxième journée n'ont pas descendu autant en raison de la ventilation importante qui réapprovisionnait constamment l'air de la serre en CO₂. En effet, plus la ventilation est grande, plus la concentration de CO₂ dans la serre avoisinera celle du CO₂ extérieur⁴⁵. C'est pour cette raison que l'apport carboné est particulièrement approprié pendant les périodes où la radiation solaire est forte et que le besoin de ventilation est faible, par exemple au printemps.

La densité de plantation aura également une influence sur les taux de CO₂. Des cultures à hautes densités consomment davantage de CO₂ et seront aussi encore plus avantagées par un enrichissement carboné. D'autres facteurs externes à la culture elle-même peuvent également influencer les concentrations de CO₂ : l'étanchéité de la serre et le mode de culture. En effet, une serre moins hermétique permettra un renouvellement plus rapide du CO₂ ambiant. D'autre part, dans une

⁴⁵ Dans cet exemple datant de 1995, la concentration atmosphérique de CO₂ était indiquée à 340 ppm, alors qu'en 2009, cette concentration est plutôt de l'ordre de 380 ppm.

culture biologique en serre l'activité de la microfaune influence la concentration de CO₂ de l'air. Lorsque les conditions sont optimales, il est possible de mesurer une libération de CO₂ qui peut atteindre 4 g/m²/h.

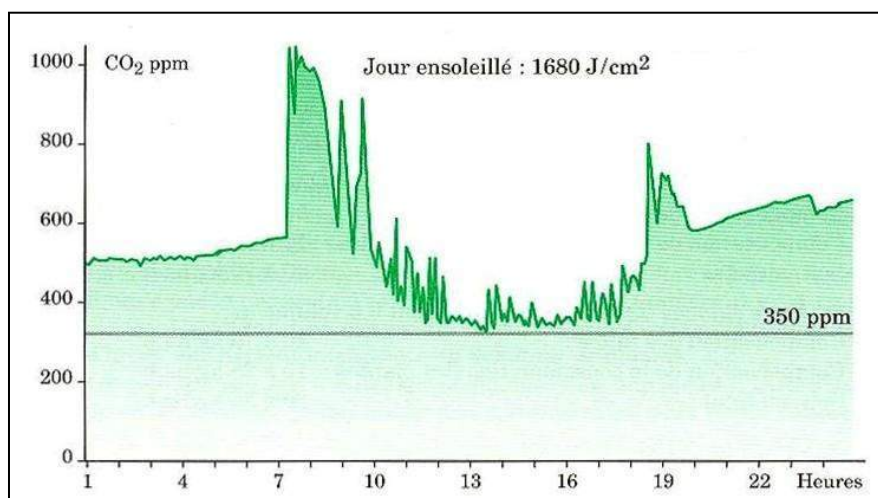


Figure 3. Concentration de CO₂ au cours d'une journée de printemps, avec enrichissement carboné : Consigne de 900 ppm avec un minimum de 350 ppm lorsque l'aération de la serre est active⁴⁶.

Dans l'exemple présenté à la figure 3, on peut voir que lorsque la ventilation est faible qu'il est facile d'augmenter la concentration de CO₂ jusqu'à 1 000 ppm. Dès que la ventilation est activée, une mise au point de la consigne s'avère nécessaire. Sans ce changement de consigne, le CO₂ injecté dans la serre sera évacué à l'extérieur de la serre. Il est donc essentiel de réduire la consigne autour de la concentration de CO₂ atmosphérique. Le but recherché par cette modification est de soutenir la photosynthèse à un niveau acceptable et de limiter les pertes de CO₂ à l'extérieur de la serre.

Effet du CO₂ sur une culture de tomate en serre

Faibles niveaux de CO₂

En plein jour, dans une serre non ventilée, le taux en CO₂ peut descendre jusqu'à 150-200 ppm, à ce niveau, le plant de tomate se retrouve tout près du point de compensation en CO₂. Le point de compensation correspond au moment où le taux de photosynthèse équivaut à celui de la photorespiration. À ce point critique, le plant ne consomme et ne fabrique pas de biomasse. Ceci provient du fait que le rapport O₂/CO₂ dans l'air de la serre est alors élevé et que l'enzyme RubisCO

⁴⁶ Wacquant, C. 1995. *Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol*. CTIFL, France, 127 pages.

peut réagir autant avec le CO_2 (photosynthèse) qu'avec l' O_2 (photorespiration). Donc, malgré des conditions climatiques favorables (lumière, eau, température et hygrométrie), la croissance des plantes sera nulle.

Le taux de photosynthèse d'un plant de tomate est fortement influencé par la concentration de CO_2 (figure 4). Autour de 180-200 ppm le taux de photosynthèse correspond à environ 50 % de ce qu'il est à 380 ppm. Au niveau de l'équilibre entre la croissance végétative et générative, une faible concentration en CO_2 favorise beaucoup plus la croissance végétative.

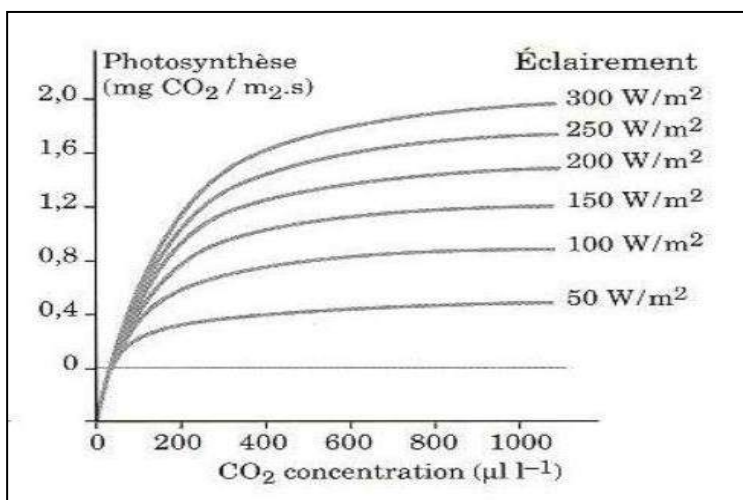


Figure 4. Photosynthèse pour une culture de tomate en fonction de l'intensité lumineuse et de la concentration en CO_2 ⁴⁷.

Hauts niveaux de CO_2

En général, plus l'intensité lumineuse est grande, plus l'augmentation du CO_2 engendrera des niveaux photosynthétiques élevés (Figure 3). L'effet le plus marqué se produit entre 150 et 350 ppm, mais il reste tout de même très élevé jusqu'à 600 ppm. De 600 à 1 000 ppm, l'augmentation de l'activité photosynthétique est toujours notable, mais diminuée. Finalement, l'augmentation à des niveaux supérieurs à 1 000 ppm est assez faible et avec un maximum aux environs de 1 500 ppm. Ce plafond est le résultat de limites physiologiques du plant. À de hautes concentrations, la RubisCO ne se régénère pas assez rapidement, ce qui limite la photosynthèse.

Le gain en production résultant de l'enrichissement en CO_2 d'une culture de tomates est de nos jours universellement reconnu. Lorsque la concentration moyenne pendant une saison de culture passe de

⁴⁷ Wacquant, C. 1995. *Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol*. CTIFL, France, 127 pages.

350 ppm à 600 ppm, l'accroissement de la production est de 15 à 20 % (Wacquant, 1995). Avec un niveau plus élevé de 800–1 000 ppm, le gain pourrait aller jusqu'à 30 % (Nederhoff, 1994)⁴⁸.

Plus en détail, la photosynthèse d'un plant de tomate aux environs de 1 000 ppm est 40 à 70 % plus élevée que celle d'un plant au niveau du CO₂ atmosphérique (380 ppm). Cela se traduit par des rendements supérieurs de l'ordre 30-35 % en début de culture, ce qui peut représenter une augmentation de l'ordre de 1 à 2 kg/m² lors du premier mois de récolte (Wacquant, 1995). Toutefois, ces gains de l'activité photosynthétique sont diminués avec le temps : les rendements à 1 000 ppm qui étaient supérieurs de 30-35 % en début de culture diminuent à 10-20 % avec le temps. Ceci s'explique par l'adaptabilité des plants à ces niveaux élevés de CO₂ dans l'air. En effet, une exposition à de hauts niveaux de gaz carbonique entraîne souvent une diminution de l'indice foliaire des plants. Cette diminution de la surface foliaire vient amoindrir les gains photosynthétiques de l'enrichissement carboné.

En ce qui a trait à la relation lumière-CO₂, il faut considérer le cas où la lumière devient le facteur limitant de la croissance. Lorsque le niveau de lumière est faible, comme c'est souvent le cas en hiver dans les serres, de hautes concentrations de CO₂ peuvent s'avérer profitables. Encore une fois, l'explication se trouve au niveau de la RubisCO. En créant un rapport O₂/CO₂ très faible, ça provoque une baisse importante de la photorespiration (consommation en carbone). De ce fait, le gain net en carbone sur une base journalière est augmenté.

Les effets plus spécifiques de l'augmentation des niveaux de CO₂ par l'enrichissement carboné sur les plants de tomate sont les suivants :

- ⇒ Augmentation de la matière sèche dans toutes les parties de la plante, surtout au niveau de l'allongement racinaire.
- ⇒ Augmentation de la croissance des tiges.
- ⇒ Épaississement des feuilles.
- ⇒ Diminution des besoins en eau de plants en raison de la diminution de la transpiration.
- ⇒ Augmentation du nombre de grappes en fleurs et du nombre de fleurs par grappe.
- ⇒ Anthèse plus rapide.
- ⇒ Diminution de l'avortement florale.
- ⇒ Augmentation du nombre total de fruits et/ou de leur calibre.
- ⇒ Hausse du taux des sucres dans les fruits.

⁴⁸ Nederhoff, E.M. 1994. Effect of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Wageningen Agricultural University. The Netherlands, 213 pp.

- ⇒ Ralentissement du mûrissement en raison de la diminution de la respiration des feuilles.
- ⇒ Pour un plant qui a un bon ratio feuilles/fruits, l'enrichissement carboné va favoriser la croissance générative. Par contre, pour un plant qui est en déséquilibre végétatif, l'injection du CO₂ aura pour effet de favoriser la croissance végétative, ce qui sera néfaste pour la production.

Enrichissement avec du CO₂ pur ou obtenu par combustion?

Les deux sources de gaz carbonique naturellement présentes dans une serre proviennent de l'apport de la ventilation et de celui de l'activité biologique du substrat. Plus le niveau de ventilation sera grand, plus l'apport sera important. L'autre façon d'emmener le gaz carbonique aux cultures est l'enrichissement carboné. Voyons dans le détail les différentes sources d'enrichissement carboné. De façon générale, le gaz carbonique peut être obtenu de deux manières soit via l'entremise de CO₂ liquide (pur) ou par la combustion d'hydrocarbures.

Le CO₂ pur

Pour ce type d'enrichissement, il est nécessaire d'avoir un réservoir extérieur de stockage de CO₂ liquide sous pression (photo ci-dessous). Ce réservoir est fourni en location par le fournisseur de gaz. À partir du réservoir, le CO₂ liquide sous pression passe au travers d'un vaporisateur qui utilise la chaleur de l'air ambiant ou de l'énergie électrique pour réchauffer le liquide et le faire passer à l'état gazeux. Par la suite, le CO₂ gazeux passe au travers d'un système de détente et utilise la pression qu'il possédait pour cheminer vers le système de distribution.



Avantages :

- ⇒ Source de CO₂ très sécuritaire en raison de sa pureté.

- ⇒ La concentration du CO₂ liquide est presque de 100 %, ce qui est environ 10 fois supérieur aux concentrations obtenues dans les gaz de combustion.
- ⇒ Coût d'investissement assez faible et très peu de frais d'entretien.
- ⇒ L'enrichissement peut être fait en tout temps indépendamment des périodes de chauffage.

Désavantages :

- ⇒ Le coût par gramme de CO₂ obtenu est plus élevé comparativement avec le CO₂ obtenu par combustion, surtout lorsque le chauffage est nécessaire dans les serres.
- ⇒ Disponibilité chez seulement quelques distributeurs.

Le CO₂ obtenu par combustion

La production de CO₂ dans ce cas provient de la combustion d'hydrocarbures comme le gaz naturel ou le propane. Le produit de leur combustion est essentiellement du CO₂ et de la vapeur d'eau. Les gaz de combustion sont à des concentrations d'environ 10 % en CO₂.

1 min 3 s de gaz naturel produit (valeurs approximatives) → 1,8 kg CO₂ + 1,4 L d'eau et 10,5 kWh
1 L de propane produit (valeurs approximatives) → 1,5 kg CO₂ + 0,8 L d'eau et 6,6 kWh

Avantage :

- ⇒ Enrichissement carboné quasiment « gratuit » lorsque le chauffage de la serre est nécessaire.

Désavantages :

- ⇒ Ne peut pas être utilisé lorsque le chauffage n'est pas requis ou il faut évacuer la chaleur à l'extérieur.
- ⇒ Si la combustion du gaz naturel ou du propane est incomplète, à la suite d'une alimentation anormale en air (oxygène) ou à un brûleur défectueux, il peut se former des composés qui sont phytotoxiques. Les principaux gaz toxiques sont : éthylène (C₂H₄), monoxyde de carbone (CO), dioxyde de soufre (SO₂), monoxyde et dioxyde d'azote (NO et NO₂) et le propylène (C₃H₆).

Contrairement aux humains, la tomate est peu sensible au CO, mais par contre, elle est extrêmement sensible à certaines substances comme l'éthylène (tableau 1). La mesure de la concentration en éthylène de l'air est cependant très dispendieuse. Cependant, il est de pratique courante de mesurer la concentration de CO afin de détecter toute forme de combustion incomplète, car autant la présence de CO, de C₂H₄ ou de NO et de NO₂, sera le signe d'une combustion incomplète. Normalement, lorsque la concentration de CO mesurée dans le gaz non dilué dépasse 30 ppm, ça indique que la combustion est incomplète et que la présence d'éthylène ou d'autres gaz est probable. Dès ce niveau, il faut arrêter l'enrichissement carboné de la culture et vérifier le fonctionnement du brûleur.

Tableau 1 : Valeurs critiques pour les plantes et les humains de quelques gaz qui sont reliés à la combustion des hydrocarbures.

Gaz	Plantes	Homme
Éthylène (C ₂ H ₄)	0,01 à 0,5	5
Dioxyde de soufre (SO ₂)	0,1 à 0,5	2
Monoxyde et dioxyde d'azote (NO et NO ₂)	0,1 à 0,5	25 à 30
Propylène (C ₃ H ₆)	10 à 50	-
Monoxyde de carbone (CO)	100 à 500	50
Dioxyde de carbone (CO ₂)	2 000 à 30 000	5 000

Source : Wacquant, C. 1995. *Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol*. CTIFL, France, 127 pages.

Enrichissement carboné avec un brûleur localisé

Les brûleurs de type localisé sont situés directement dans la serre et sont généralement moins dispendieux à l'achat qu'un système central. Leur nombre et leur disposition dépendront des besoins de la culture et des caractéristiques de chaque brûleur : source de combustible, puissance, etc. Les zones près des brûleurs risquent d'être plus chaudes et plus humides que celles loin des brûleurs. De plus, l'injection de la chaleur ne se fait pas nécessairement au bon endroit dans la culture, soit dans le haut des plants. Finalement, l'enrichissement carboné n'est pas possible en situation où le chauffage n'est pas nécessaire.



Dans cette catégorie, il y a deux types de brûleur, ceux qui sont suspendus (photo ci-contre) et ceux qui sont sur pieds. Les brûleurs suspendus sont ceux que l'on utilise le plus couramment et les modèles « Low-NO_x » sont les plus recommandables, car ils possèdent un système qui assure une combustion plus complète et sécuritaire des hydrocarbures. Les brûleurs sur pieds sont beaucoup plus gros, surtout s'ils contiennent un échangeur de chaleur. Le plus grand avantage de ce type de brûleur est un certain contrôle des niveaux de CO₂ et une diminution de l'introduction de vapeur d'eau. Le principal inconvénient des brûleurs sur pieds est le fait qu'ils accaparent une partie des serres réduisant ainsi les superficies de culture. Pour obtenir une meilleure uniformité de la distribution du CO₂, il faut absolument avoir un bon réseau de ventilateurs de circulation de l'air dans les serres.

Avantages :

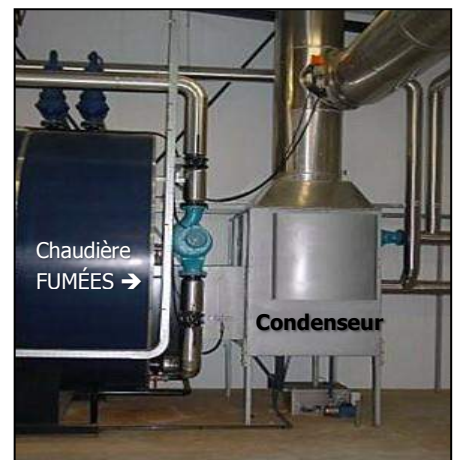
- ⇒ Le type suspendu n'occupe aucun espace sur le plancher ce qui permet de maximiser les superficies en culture.
- ⇒ Coût d'investissement moyen.

Désavantages :

- ⇒ Provoque beaucoup de mouvements d'air au-dessus de la culture entraînant une diminution de la croissance et davantage de perte de chaleur par le toit.
- ⇒ Bloque une partie de la lumière extérieure.
- ⇒ Amène de la vapeur d'eau directement dans la serre ce qui peut engendrer des problèmes phytosanitaires.
- ⇒ Moins bonne distribution du CO₂.

Enrichissement carboné à partir de la récupération des fumées de combustion d'un système de chauffage central

Pour réaliser la récupération des fumées de combustion, il faut qu'une des chaudières de la serre soit équipée d'un condenseur [photo ci-contre]. S'il y a plus d'une chaudière dans la chaufferie, la récupération du CO₂ se fait généralement sur une seule, car en période de grande demande de chauffage, le CO₂ produit par une seule chaudière, représente environ 5 fois les besoins de la culture. Un système bien monté, tel qu'illustré à la figure 1, permet d'améliorer le rendement d'une chaudière de l'ordre de 5-6 %. Dans un premier temps, le condenseur retire 70 % de la vapeur d'eau qui est contenue dans les fumées. Un détecteur permet de mesurer le monoxyde de carbone dans le gaz à la sortie du condenseur et arrête automatiquement l'enrichissement de la serre lorsque la concentration dépasse 30 ppm. Par la suite, un ventilateur est



utilisé pour pousser le gaz vers le réseau de distribution de la serre. Si nécessaire une vanne de mélange permet de diluer les fumées de combustion avec de l'air extérieur pour réduire la température.

Pour prévenir la combustion incomplète des hydrocarbures, la chambre des chaudières doit être bien ventilée afin de s'approvisionner suffisamment d'air extérieur. La chaudière doit être inspectée annuellement afin de s'assurer que le ratio entre l'air extérieur et le combustible est adéquat. Un apport trop faible en air augmente les risques de combustion incomplète tandis qu'un apport trop grand en air réduit l'efficacité de la chaudière. Normalement, il faut 14 à 16 m³ d'air extérieur pour assurer la combustion complète de 1 m³ de gaz naturel.

Dans le cas où la serre est équipée d'un réservoir de stockage d'eau chaude, ce système devient encore plus performant. En effet, le stockage de chaleur permet de produire du CO₂ le jour, même si le chauffage de la serre n'est pas nécessaire, et d'utiliser l'eau chaude entreposée dans un réservoir lorsque le chauffage sera requis [la nuit]. La chaleur d'environ 7 min 3 s de gaz peut être emmagasinée dans 1 min 3 s d'eau. Les besoins en réserve d'eau chaude sont de l'ordre de 150 à 200 m³/ha en fonction des besoins en CO₂ et en énergie de la culture.

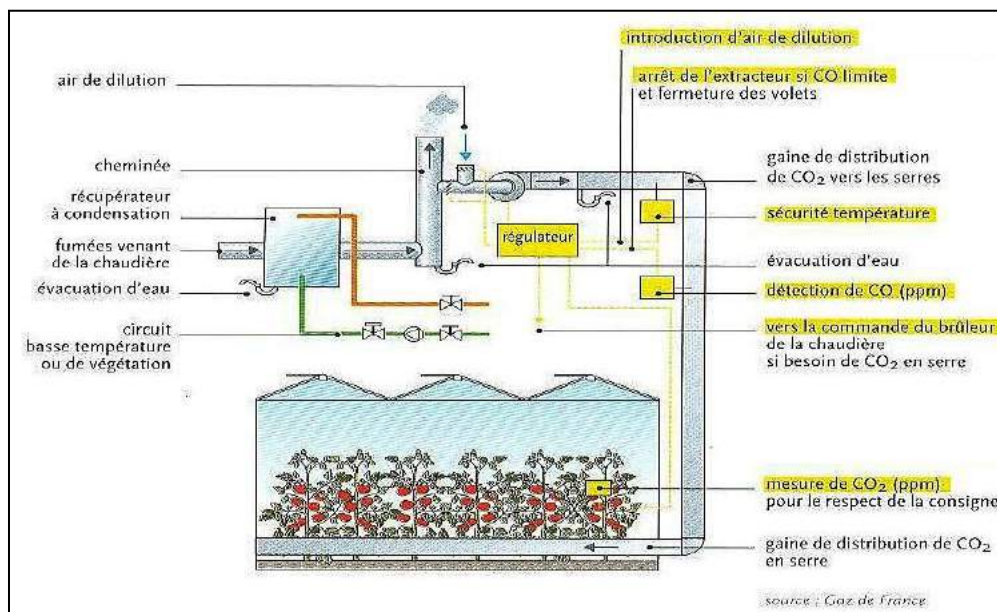


Figure 5. Schéma des installations d'un système d'enrichissement carboné d'une serre à partir de la récupération des fumées de combustion. Source : Grisey, A. et E. Brajeul 2007. Serres chauffées : réduire ses dépenses énergétiques. CTIFL, France, 175 pages.

Avantages :

- ⇒ Système situé à l'extérieur des serres ce qui n'entraîne pas de diminution des superficies en culture.
- ⇒ Permet d'enlever la majeure partie de la vapeur d'eau.
- ⇒ Lorsque couplé à des réservoirs d'entreposage d'eau chaude, il offre la possibilité d'apporter la chaleur et le CO₂ séparément.

Désavantages :

- ⇒ Coût d'acquisition plus élevé, surtout si jumelé à l'entreposage de l'eau chaude.
- ⇒ Sans système de stockage de l'eau chaude, l'apport de chaleur et de CO₂ se fait simultanément.

La distribution du CO₂ dans la serre

Le gaz carbonique de source naturelle dans une serre devient rapidement un facteur qui limite la croissance des plantes. L'enrichissement carboné permet alors d'accroître la productivité de l'ordre de 30 %. Différentes techniques de production de CO₂ ont été décrites dans la troisième partie. Dans la présente, il sera question de la distribution et du contrôle du CO₂ dans les serres.

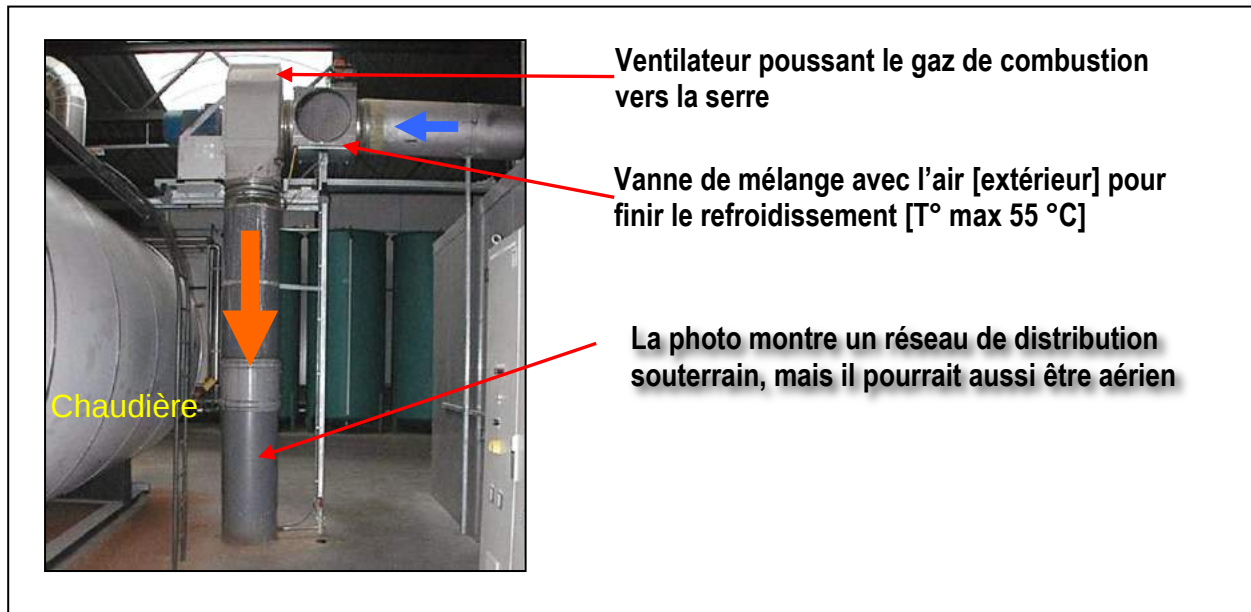
Afin de maximiser l'enrichissement carboné, il est important de doter la serre d'un système de distribution approprié. Si l'on désire que la croissance des plantes soit uniforme, il faut aussi que la distribution du CO₂ le soit. Pour bien distribuer le gaz carbonique dans une serre, il faut tenir compte de certains paramètres physiques. Le premier paramètre à considérer, c'est que le gaz carbonique se déplace dans l'air selon la loi de Fick. En résumé, cette loi nous apprend que le flux de diffusion du CO₂ dans l'air est proportionnel au gradient de concentration et est fonction de la température. Ce qui veut dire que le CO₂ migre d'une zone où la concentration est élevée vers une zone où elle est basse. De plus, plus l'air est chaud et plus le CO₂ diffuse rapidement. Par contre, le CO₂ ne se déplace pas très loin par simple diffusion. C'est pour cette raison que ce gaz doit être injecté dans plusieurs endroits dans la serre et de manière homogène.

En deuxième lieu, on doit considérer que le gaz carbonique est plus lourd que l'air. La densité du CO₂ est plus élevée que celle de l'air, 1.78 kg/m³ versus 1.16 kg/m³. De façon imagée, disons qu'après

avoir été injecté dans la serre, le CO_2 va avoir tendance à descendre, ensuite, il va migrer dans l'air en suivant le gradient de concentration. Une fois qu'il a diffusé dans l'air, le gaz carbonique ne va pas demeurer au sol, il va plutôt suivre le mouvement ascendant de l'air chaud [mouvement de convection].

Distribution à partir d'un système de récupération des fumées de combustion

Le CO_2 est amené du système central par un réseau de tuyaux de PVC.



Le danger des gaz toxiques. Si la combustion du gaz naturel ou du propane est incomplète, à la suite d'une alimentation anormale en air [oxygène] ou à un brûleur défectueux, il peut se former des composés qui sont phytotoxiques. Les principaux gaz toxiques sont : éthylène [C_2H_4], monoxyde de carbone [CO], dioxyde de soufre [SO_2], monoxyde et dioxyde d'azote [NO et NO_2] et le propylène [C_3H_6]. On se sert du CO pour vérifier la qualité de la combustion. Normalement, lorsque la concentration de CO mesurée dans le gaz non dilué dépasse 30 ppm, ça indique que la combustion est incomplète et que la présence d'éthylène ou d'autres gaz est probable. Dès ce niveau, il faut arrêter l'enrichissement carboné. **Un système de récupération des fumées de combustion doit toujours être équipé d'un détecteur de CO .**

Dans la serre, le réseau de distribution primaire est en tuyaux de PVC. La distribution secondaire, celle qui se fait dans chaque rang de culture est faite avec des gaines de polyéthylène. Les gaines ont généralement 4 cm de diamètre. Pour des rangs de plus de 40 m de longueur, il est recommandé d'installer des tubes d'un diamètre plus grand [6 cm]. Les gaines sont perforées [2 à 4 trous d'environ 1 mm] à tous les 30, 60 ou 90 cm. L'uniformité de pression est très importante, car c'est ce qui va influencer l'uniformité de distribution. La pression mesurée dans les gaines doit être entre 4 et 6 cm

d'eau avec une variation maximale de 2 cm d'eau sur tout le réseau. Les tubes de polyéthylène sont placés sur le sol ou bien suspendus à l'intérieur de la canopée végétale [photos ci-dessous].



Distribution du CO₂ liquide

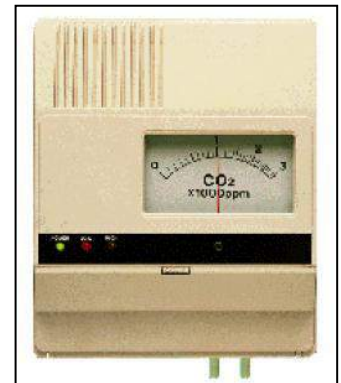
Le gaz carbonique liquéfié est déjà sous pression dans le réservoir. Le réseau de distribution primaire est aussi fait en tuyaux de PVC. Au niveau de la distribution secondaire, on peut procéder de deux façons. Si la serre est chauffée avec des fournaies à air chaud, il est possible d'injecter le CO₂ pur dans chaque gaine de distribution du chauffage. Le gaz se mélange aisément dans l'air chaud et le ventilateur de la fournaise le distribue dans la serre en même temps que la chaleur. Une autre technique consiste à utiliser des gaines d'irrigation goutte à goutte à paroi fine. À ce moment, il faut installer une gaine par rang.

Distribution du CO₂ obtenu avec un brûleur

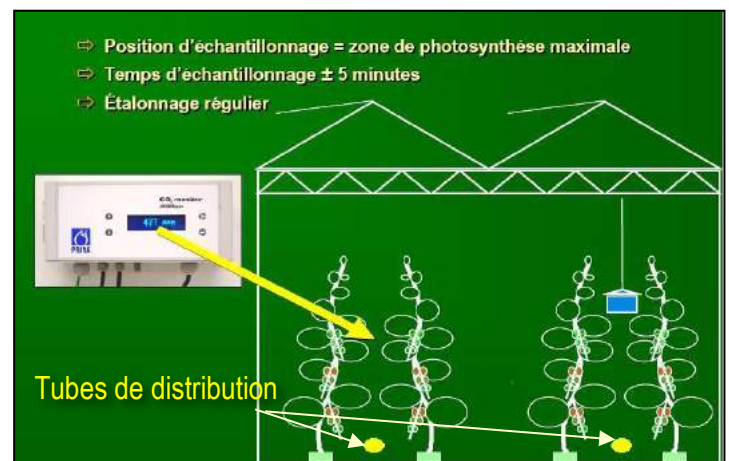
Avec l'enrichissement fait à partir de brûleurs localisés, pour avoir une certaine homogénéité de la concentration du CO₂, il est primordial que la serre soit équipée de ventilateurs pour faire circuler l'air à l'horizontale. Il est aussi important, lorsque c'est possible, d'installer plusieurs « petits » brûleurs, plutôt qu'un seul gros.

La mesure du CO₂ dans la serre

Dans la serre, les niveaux de gaz carbonique sont mesurés par un analyseur de gaz à l'infrarouge [photo ci-contre]. L'air est pompé à l'intérieur de l'appareil dans une chambre de mesure. La chambre de mesure possède un émetteur infrarouge d'un côté et un détecteur de l'autre qui mesure la quantité de radiations infrarouges. Les molécules de CO₂ dans l'air absorbent les radiations infrarouges. Par différence, l'appareil peut déterminer la concentration du CO₂ dans l'air. Les analyseurs couvrent habituellement des concentrations comprises entre 0 et 2 000 ppm. La valeur mesurée peut être lue directement sur le moniteur ou transmise à un système informatique de contrôle du climat.



La prise de mesure des niveaux de CO₂ se fait dans un emplacement représentatif de toute la serre. La partie supérieure des plants est habituellement le meilleur endroit pour mesurer les taux de CO₂ [schéma ci-contre]. C'est à cet endroit où l'activité photosynthétique des plants est maximale, alors que l'injection se fait à la base des plants. Si la mesure est prise dans le bas



des plants, les niveaux seront de beaucoup plus élevés et ne refléteront pas les niveaux réels de CO₂ aux endroits critiques des serres. La plupart des analyseurs de CO₂ demandent à être étalonnés régulièrement, 2 à 4 fois par année.

Le contrôle du CO₂

Afin d'optimiser l'enrichissement carboné, les niveaux de CO₂ doivent être reliés aux conditions climatiques extérieures et celles présentes dans la serre. La technique la plus appropriée est l'utilisation de contrôleurs climatiques intégrés : Argus, Damatex, Hoogendoorn ou Priva. Les niveaux désirés sont fixés en tenant compte de divers facteurs qui affectent les besoins en CO₂ de la culture [âge de la culture, intensité lumineuse, température, équilibre génératif/végétatif, etc.] et les facteurs affectant les pertes de CO₂ [position des ouvrants et vitesse du vent]. Généralement, les consignes de démarrage et d'arrêt de l'enrichissement carboné sont déterminées par des niveaux minimaux et maximaux de CO₂ mesurés dans les serres. L'utilisation de contrôleurs climatiques intégrés permet une lecture en temps réel et un archivage sous forme graphique permettant l'analyse de l'évolution des niveaux de gaz carbonique dans le temps en fonction de divers paramètres climatiques. Ceci facilite par la suite la prise de décision pour une gestion plus optimale du CO₂.