

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE



Centre d'Angers-Institut National
d'Horticulture et de Paysage

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du **MASTER 3A** (Agronomie et Agroalimentaire)

Spécialité : Systèmes et techniques innovants en horticulture et pour la santé des plantes
Parcours : Horticulture méditerranéenne et tropicale (HORTIMET)

**Etude des Effets de fortes températures
sur la production du pêcher
et la qualité des fruits**

par
Aroua AMMAR

Année de soutenance : 2014

**Organisme d'accueil : UR1115 Plantes et Systèmes de Culture Horticoles
INRA Avignon**



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE



Centre d'Angers-Institut National
d'Horticulture et de Paysage

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du MASTER 3A (Agronomie et Agroalimentaire)

Spécialité : Systèmes et techniques innovants en horticulture et pour la santé des
plantes Parcours : Horticulture méditerranéenne et tropicale (HORTIMET)

**Etude des Effets de fortes températures
sur la production du pêcher
et la qualité des fruits**

par
Aroua AMMAR

Mémoire préparé sous la direction de :

Jean-Luc REGNARD

Présenté le : 15/09/2014

Devant le Jury :

Pierre-Eric LAURI

Emmanuel GEOFFRIAU

Jean-Luc REGNARD

Gilles VERCAMBRE

Organisme d'accueil : UR1115

Plantes et Systèmes de Cultures

Horticoles - INRA Avignon

Maîtres de stage :

Hélène GAUTIER

Gilles VERCAMBRE

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier Madame Hélène GAUTIER, qui m'avait donnée l'opportunité d'effectuer mon stage au sein de l'unité Plantes et Systèmes de Culture Horticoles (INRA-PSH).

Ensuite, j'adresse un grand merci à Monsieur Gilles VERCAMBRE, d'avoir accepté d'encadrer mon travail, de m'avoir consacrée du temps pour m'apprendre à manipuler le logiciel R et à connaître ses fonctionnalités et pour son aide dans la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais bien évidemment remercier Monsieur Jean-Luc REGNARD, responsable pédagogique du parcours HORTIMET, mon tuteur de stage, pour m'avoir guidée et conseillée tout au long de l'année ainsi que pour sa grande disponibilité.

Mes remerciements vont également à Monsieur Pierre-Eric LAURI, d'avoir accepté de juger ce travail en tant que rapporteur.

Plus précisément, je remercie Fatima ADRA, avec qui j'ai partagé le même sujet, pour son aide et pour sa patience, notamment dans la longue tâche de prise de mesures.

Merci à tous les membres de l'unité de recherche « PSH », pour leur aide et leur soutien.

Sans oublier, ma famille et mes amis pour leur soutien et leur encouragement.

GLOSSAIRE

Période1 : première application du premier traitement thermique du 28/03 au 15/05/2014

Période2 : Retour à la même température qu'à l'extérieur pour le compartiment 3 et passage de +5°C à +2°C pour le compartiment 1 du 16/05 au 05/06/2014

Période3 : reprise du chauffage pour certains traitements du 06/06/2014 à mi-Juillet

SIGLES ET ACRONYMES

C1 : Compartiment 1 pour les traitements à +5°C

C2 : Compartiment 2 témoin à la même température extérieure

C3 : Compartiment 3 pour les traitements à +2°C

+0°C/+0°C : Traitement témoin sous serre

+0°C/+2°C : Traitement thermique à +2°C appliqué à la période3

+0°C/+5°C : Traitement thermique à +5°C appliqué à la période3

+2°C/+0°C : Traitement thermique à +2°C appliqué à la période1

+2°C/+2°C : Traitement thermique à +2°C appliqué durant les périodes1 et 3

+5°C/+0°C : Traitement thermique à +5°C appliqué à la période 1

+5°C/+5°C : Traitement thermique à +5°C appliqué durant les périodes 1 et 3

VPD : Vapor Pressure Deficit (Déficit de Pression de Vapeur)

SLA : Specific Leaf Area (Surface Spécifique Foliaire)

GR : Growth Rate (vitesse de croissance)

SOMMAIRE

INTRODUCTION	10
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	12
1. Exigence en temps thermique pour le développement.....	12
2. Effet de l'augmentation des températures sur la phénologie.....	12
2.1.Incidence de la température sur la levée de dormance	13
2.2.Effet de la température sur la fécondation et la nouaison	14
2.3.Impacts des fortes températures sur la fructification.....	15
3. Effets sur la croissance végétative et la physiologie des arbres	15
3.1. Effet sur la photosynthèse	16
3.2. Effet sur la conductance stomatique.....	17
4. Effets sur la qualité des fruits.....	18
CONCLUSION PARTIELLE, ET ENONCE DE LA PROBLEMATIQUE	19
MATERIEL ET METHODES	20
1. Présentation du site expérimental et du matériel végétal	20
2. Mesures climatiques.....	21
3. Suivi de la croissance	22
3.1. Suivi de la croissance végétative.....	22
3.2. Suivi de la croissance et la qualité des fruits.....	22
4. Suivi de la physiologie des arbres : échanges gazeux et potentiel hydrique foliaire.....	23
5. Analyses statistiques	23
RESULTATS	24
1. Les données climatiques.....	24
1.1. Températures enregistrées dans les compartiments de la serre	24
1.2. Humidité relative et déficit de pression de vapeur d'eau (VPD).....	25
2. Croissance végétative.....	26
2.1. Proportion des bourgeons débouffés par rameau et ayant évolués en pousses	26
2.2. Emergence des feuilles.....	27

2.3. Elongation des pousses.....	28
2.4. Estimation de la surface foliaire spécifique (SLA)	30
3. Potentiel hydrique foliaire.....	31
4. Echanges gazeux	32
5. Nouaison, croissance et qualité des fruits	34
5.1. Taux de chute physiologique des fruits	34
5.2. Croissance des fruits.....	35
5.3. Qualité des fruits	37
5.3.1. Fermeté des fruits	37
5.3.2. Taux de sucre (°Brix)	37
5.3.3. Teneur en matière sèche.....	39
5.3.4. Conductance cuticulaire des fruits	40
DISCUSSION	41
1. Influence de la température sur les processus de développement et de croissance	41
2. Effet de la température sur la nouaison.....	41
3. Réponses du potentiel hydrique et des échanges gazeux à l'augmentation des températures.....	42
4. Effet de la température sur le processus de maturation et sur la qualité des fruits.....	43
4.1. Conductance cuticulaire du fruit	44
4.2. Fermeté et taux de sucre (°Brix)	44
CONCLUSION	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
SITOGRAFIE	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Evolution de la photosynthèse nette en fonction de la température chez les Lilium sous serre	17
Fig. 2. Évolution journalière de la conductance stomatique relative, de la température des feuilles et du taux de transpiration du tabac, <i>Nicotiana tabacum</i> , var "Samsun"	18
Fig. 3. Evolution des températures moyennes, maximales et minimales dans les 3 compartiments de la serre	24
Fig. 4. Différence de température entre les 3 compartiments de la serre (Compartiment 1 à +5°C et le compartiment 3 à +2°C par rapport au compartiment 2 témoin).....	25
Fig. 5. Somme des degrés jour cumulée au cours du temps pour chaque traitement	25
Fig. 6. Evolution de l'humidité relative dans les 3 compartiments au cours du temps	26
Fig. 7. Evolution du déficit de pression de vapeur d'eau dans les 3 compartiments au cours du temps	26
Fig. 8. Evolution du taux de débourrement des bourgeons végétatifs évolués en pousses	27
Fig. 9. Emergence des feuilles sur les pousses insérées en position terminale sur le rameau.....	28
Fig. 10. Croissance des pousses insérées en position terminale sur le rameau en fonction du temps et de la période d'application du traitement thermique	29
Fig. 11. Vitesse de croissance des pousses terminales [cm/jour] par unité de temps calendaire ...	30
Fig. 12. Vitesse de croissance des pousses terminales [cm/jour] par unité de temps thermique [°C jour]	30
Fig. 13. Evolution de la surface foliaire spécifique au cours du temps.....	31
Fig. 14. Evolution du potentiel hydrique foliaire des différents traitements en fonction du temps .	31
Fig. 15. Echange gazeux (conductance stomatique, photosynthèse et transpiration) et température des feuilles mesurés pendant les jours ensoleillés pour les différents traitements	33
Fig. 16. Photosynthèse en fonction de la température des feuilles pour les différents traitements ..	33
Fig. 17. Photosynthèse en fonction de la conductance stomatique des feuilles pour les différents traitements	34
Fig. 18. Taux de chute des fruits noués au cours du temps selon les traitements (stress thermique appliqué au 87ème jour).....	35
Fig. 19. Croissance diamètre des fruits en fonction du temps et selon le traitement thermique réalisé	35
Fig. 20. Vitesse de croissance des fruits [cm ³ /j] par unité de temps calendaire	36
Fig. 21. Vitesse de croissance des fruits [cm ³ /j] par unité de temps thermique [°C jour]	36
Fig. 22. Evolution de la fermeté des fruits au cours de la maturité pendant la 3ème période.....	37
Fig. 23. Evolution du °Brix pour les différents traitements pendant la 3ème période	38

Fig. 24. Evolution du °Brix en fonction de la fermeté des fruits pour les différents traitements.....	38
Fig. 25. Evolution du °Brix en fonction de la masse fraîche du fruit.....	39
Fig. 26. Evolution de la teneur en matière sèche de la chair + peau en fonction des différents traitements pour les 8 prélèvements réalisés au cours du temps	40
Fig. 27. Evolution de la conductance cuticulaire au cours de la maturité des fruits à la 3ème période	40
Fig. 28. Schéma présentant les différents effets de la température à l'échelle de l'arbre.....	47

LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1. Les variations phénologiques observées chez diverses espèces fruitières	13
Tab. 2. Les 8 traitements thermiques réalisés pendant l'essai.....	21

INTRODUCTION

La température ne cesse d'augmenter à cause du réchauffement climatique. Dans le cadre des scénarios étudiés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2013), les températures moyennes globales devraient augmenter de +0,3°C par décennie au cours du 21^{ème} siècle avec une incertitude de 0,2 à 0,5° C ; donc les températures moyennes pourraient s'accroître de +1°C par rapport aux valeurs actuelles d'ici 2025 et de + 3°C d'ici 2100 (Wahid et al., 2007).

Des recherches récentes sur l'effet du réchauffement climatique prédisent une diminution de 17% des rendements du maïs (*Zea mays*) et du soja (*Glycine max* L. Merr.) aux Etats-Unis d'Amérique (Lobell et Asner, 2003), et de 15% pour le riz (*Oryza sativa*) aux Philippines pour chaque augmentation de 1°C de la température minimum, au cours de la saison sèche (Peng et al., 2004). L'augmentation de 3°C de la température pourrait avoir pour résultat une diminution de 7% du rendement des céréales en Europe (Peltonen-Sainio et al., 2010). Une autre estimation de l'effet des fortes températures prévoit une réduction de 81% de la production de la vigne aux Etats-Unis à la fin du 21^{ème} siècle (White et al., 2006). L'augmentation des températures est ainsi devenue une menace pour de nombreuses cultures (Mathur et al., 2014).

Le réchauffement climatique est dû à la modification des concentrations des gaz à effet de serre d'origine anthropique (Seguin, 2007). Ce phénomène a comme conséquences : l'élévation du niveau moyen des mers, la fonte des glaciers, l'extension de certaines maladies infectieuses et la fréquence plus élevée des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresse, canicule, inondations...).

Parmi les productions végétales, l'arboriculture fruitière paraît susceptible de connaître des difficultés d'adaptation aux changements climatiques. Les impacts commencent à être visibles et pourront conduire, dans un proche avenir, à des irrégularités de la production (Gleizer et al., 2007). Dans ce présent travail, on cherche à étudier les principaux impacts positifs ou négatifs de l'augmentation des températures sur les productions fruitières. Le modèle végétal retenu est le pêcher, vu l'importance de cette culture dans le bassin méditerranéen qui semble être le plus adapté pour sa production. Dans la zone sud méditerranéenne, une extension de la surface cultivée a été observée durant la dernière décennie, associée à de bonnes pratiques culturales et un choix étendu de variétés (Ghrab et al., 2014). Le pêcher est la troisième espèce fruitière la plus importante dans le monde (Llácer G. et al., 2009) et la deuxième après le pommier en Europe (Reig et al., 2013). Le pêcher est une espèce sur laquelle la recherche est très dynamique, notamment en matière de création variétale, puisqu'on compte environ 100 nouveaux cultivars de pêche et de nectarines introduits pendant la dernière décennie (Byrne, 2005). Toutefois, il est avéré que l'augmentation des températures peut affecter la floraison, la qualité des fruits et la sensibilité aux maladies (LaRue

and Johnson, 1989) ; elle peut aussi induire des modifications du fonctionnement physiologique des arbres fruitiers notamment chez le pêcher (Hilaire et al., 2002), et la production de fruits va potentiellement être touchée par le réchauffement climatique (Ghrab et al., 2014).

Les objectifs de ce stage sont d'étudier les effets d'une augmentation de la température sur le développement végétatif et reproducteur du pêcher, et ses conséquences sur la production en termes de rendement et de qualité des fruits. L'impact du réchauffement climatique sur l'arboriculture fruitière sera appréhendé en particulier pour répondre à certaines interrogations concernant l'adaptation de ces cultures à cette nouvelle donnée climatique. L'expérimentation consistera à déterminer l'effet d'une augmentation des températures depuis la période du développement précoce du fruit jusqu'à sa maturation. L'étude se focalisera sur différents processus depuis l'échelle des organes jusqu'à l'échelle de l'arbre, à savoir l'assimilation du carbone par la plante, l'émergence et la croissance des organes et leur composition via les modifications du métabolisme primaire et secondaire en fonction des traitements.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Exigence en temps thermique pour le développement

Il est reconnu que de nombreuses réactions physiologiques ne sont pas linéaires en fonction de la température (mais plutôt exponentielles ou logistiques). Appliquer le temps thermique pour représenter des phénomènes, ou évaluer leur vitesse en fonction de la température, consiste à faire l'hypothèse d'une réponse « à peu près linéaire » dans une gamme de températures données. Il faut donc évoquer le domaine de validité thermique dans lequel on réalise l'étude.

Il est nécessaire de quantifier le temps thermique pour la croissance. La réponse des différents stades de développement est considérée entre deux températures extrêmes, une température de base T_b et une température maximale (T_{max}). La croissance est maximale à une température optimale T_{opt} , et on observe un arrêt du développement quand $T > T_{max}$ ou quand $T < T_b$ (Olivier et Annandale, 1998). Le Temps thermique (TT) peut être utilisé pour prédire la date de récolte. Le développement de la plante est généralement décrit en référence à une quantité de degrés jours ($^{\circ}Cj$) permettant de quantifier l'effet des températures et de décrire les processus biologiques (Tsimba et al., 2013). Chez le pois (*Pisum sativum*), par exemple, les graines exigent $100^{\circ}Cj$ pour la germination, $260^{\circ}Cj$ pour atteindre le stade 4 feuilles et $730^{\circ}Cj$ pour le stade 14 feuilles (Olivier et Annandale, 1998). NeSmith (1997) a aussi montré une relation entre le temps thermique et le nombre de feuilles déployées, et il a calculé que les premières feuilles apparaissent $150^{\circ}Cj$ après le semis chez les courges. Le temps thermique est calculé comme suit :

$$TT = \sum ((T_{max_i} + T_{min_i}) / 2 - T_b)$$

avec T_{max_i} et T_{min_i} : les températures maximale et minimale du jour i . Pour le pêcher, les valeurs de $T_{opt} = 26^{\circ}C$ et de $T_b = 7.5^{\circ}C$ sont largement utilisées (Marra, 2002).

2. Effet de l'augmentation des températures sur la phénologie

La température est considérée comme le facteur le plus important affectant la phénologie chez plusieurs espèces fruitières en climat tempéré (Grab et Craparo, 2011). Selon Chmielewski et Rötzer (2001), une augmentation des températures de $1^{\circ}C$ pendant le début de la saison printanière mène à un avancement des phases de croissance d'environ 7 jours. La durée de la période de croissance est une mesure importante en horticulture. Des variations du cycle de développement des arbres fruitiers sont provoquées par les fluctuations des températures, ceci débutant par des perturbations des dates de la levée de dormance, qui modifient la phénologie de débourrement, de floraison, et affectent par conséquent le développement végétatif, la maturité et la production des fruits (Legave, 2007).

2.1. Incidence de la température sur la levée de dormance

Les variations annuelles de la date de floraison chez les pêches et les nectarines confirment la forte influence du climat sur la production des fruits (Day et al., 2008). Plusieurs auteurs ont montré une avancée de la date de floraison et du débourrement végétatif avec l'augmentation de la température chez différentes espèces fruitières (tableau 1). Ceci peut être expliqué par un raccourcissement de la durée de la croissance florale vu la rapidité de la satisfaction des besoins physiologiques en chaleur une fois que la dormance est levée (Legave, 2007).

Tab. 1. Les variations phénologiques observées chez diverses espèces fruitières

Les variations phénologiques	Espèces fruitières et références
Précocité de la floraison et du débourrement végétatif	-pêcher (Erez et al.,1998 ; Erez et al.,2000 , Hilaire et al., 2002) -pommier (Legave, 2007; Gédon et Legave, 2008) -pommier et poirier (Grap et Craparo, 2011) - <i>Prunus davidiana</i> , <i>Prunus ameniaca</i> , <i>Robiana pseudoacacia</i> , <i>Syringa oblata</i> (Lu et al., 2006)
Accélération du développement des bourgeons floraux	-abricotier (Rodrigo et Herrero, 2002; Doi, 2007)

La température est définie comme étant le facteur exogène le plus important dans l'entrée et la levée de la dormance (Erez et al., 1998; Erez et al., 2000). L'effet des fortes températures survenant exceptionnellement pendant l'hiver a été évaluée. L'étude de Ghrab et al. (2014) a révélé une sensibilité du pêcher à l'augmentation des températures hivernales. On note une tendance à l'augmentation de la durée de la dormance résultant d'une satisfaction de plus en plus tardive des besoins en froid (Hilaire et al., 2002; Legave, 2007; Seguin, 2012). D'après Ghrab et al. (2014), différentes anomalies causées par ce phénomène ont été signalées chez le pêcher telles qu'un retard de 6 à 17 jours de la date de débourrement, une extension de la durée de floraison de 4 à 10 jours par rapport aux années précédentes avec des conditions climatiques normales, une faible croissance végétative et une très grande hétérogénéité des calibres des fruits avec un nombre assez élevé de fruits déformés, doubles ou sans noyaux. Legave (2007) a également noté des levées de dormance anormalement échelonnées entre les bourgeons au sein d'un même arbre, conduisant par exemple à un allongement de la durée de floraison sur le cerisier dans le sud-est de la France suite à l'augmentation des températures pendant l'automne et l'hiver. En conséquence, une levée de dormance incomplète affecte le comportement des arbres en réduisant le taux de débourrement, et

en induisant un manque d'uniformité de la floraison et de la croissance végétative pouvant conduire à une chute des bourgeons floraux (Viti et al., 2010) puis une diminution du rendement et de la qualité des fruits (Elloumi et al., 2013).

2.2. Effet de la température sur la fécondation et la nouaison

La floraison est la phase la plus sensible au changement climatique (Grab et Craparo, 2011). Avec l'augmentation des températures durant l'hiver puis au printemps, elle peut être plus hâtive, les fleurs étant alors plus vulnérables à l'augmentation des risques de dégâts de gel printanier (Hänninen, 2006; Gu et al., 2008; Hilaire et al., 2002; Seguin, 2012). A contrario, d'après les expériences menées par Erez et al. (1998), les températures à la floraison ou même pendant les 2 ou 3 semaines qui suivent, ne doivent pas dépasser 23°C. Au-delà de cette température, elles peuvent engendrer plus tard des pertes de fruits aggravées par l'avancement de la croissance végétative (Erez et al., 1998). Ces conditions climatiques sont défavorables pour la pollinisation et la fécondation (Seguin, 2012), et elles peuvent provoquer des troubles physiologiques à savoir la chute des boutons floraux et des fleurs, à cause de l'avortement et/ou de la nécrose des pièces florales (Hilaire et al., 2002). Rodrigo et Herrero (2008) ont montré un manque de synchronisation entre le développement pistillaire et celui des autres organes floraux chez les arbres qui ont subi des températures trop élevées avant le débourrement floral, entraînant par conséquent, une altération de la morphologie et de la qualité des fleurs puis des fruits. Les nécroses et les chutes des fleurs varient en fonction des variétés et des arbres sur une même parcelle (Hilaire et al., 2002) et selon les changements climatiques d'une région géographique donnée (Grab et Craparo, 2011).

Les travaux réalisés par Erez et al (1998; 2000) sur pêcher cultivé sous serre ont par ailleurs montré que les fortes températures avant et après l'anthèse induisaient une accélération de la floraison d'une part, et un décalage de la croissance des gamétophytes femelles et des anomalies dans la formation des gamétophytes mâles, d'autre part. Les mêmes résultats ont été confirmés par Nava et al. (2009) sur la variété de pêcher 'Granada' cultivée sous serre. Le stress haute température a entraîné une faible viabilité des grains de pollen et une faible production de sacs embryonnaires entraînant une désynchronisation de la maturité des gamétophytes mâle et femelle, limitant le taux de fécondation et réduisant ainsi le taux de nouaison et le rendement en fruits. Les fortes températures perturbent aussi la germination du pollen chez le pêcher (Weinbaum et al. 1984). Cet effet de la température sur les performances des organes reproducteurs dépend des espèces et des régions de culture (Hedhly et al., 2009). L'augmentation des chutes de fleurs après la pollinisation entraîne par ailleurs une diminution du taux de nouaison et une réduction du rendement final en fruits chez la tomate (Adams et al., 2001; Garg et Cheema, 2011), les céréales (Porter et Semenov, 2005), les espèces pastorales (Tubiello et al., 2007), le fraisier (Ledesma et al., 2008) et le prunier (Niezderholzer, 2014). Ces résultats ont été confirmés par Erez et al. (1998; 2000), qui ont

démontré que les fortes températures pendant les périodes pré- et post- floraison engendraient une diminution du taux de nouaison et des pertes de fruits sur pêches et nectarines. Cette chute physiologique est aggravée par l'avancement de la croissance végétative. Des températures supérieures à 25°C sont considérées comme températures-seuil pour la survenue des problèmes de nouaison chez les *Prunus*. Selon Niezderholzer (2014), le seuil des températures et la durée d'exposition au stress thermique restent mal connus. Toutefois, cet auteur a montré qu'un stress de courte durée intervenant au début de la floraison, suivi par des températures plus fraîches, ne semble ne pas nuire à la récolte autant que le stress appliqué pendant toute la période de floraison.

2.3. Impacts des fortes températures sur la fructification

Le réchauffement climatique a des impacts importants sur la phénologie du débourrement et de la floraison chez les arbres fruitiers, et il a par conséquent des effets sur la production et la maturité des fruits (Legave, 2007). La croissance des fruits dépend du cumul des températures à partir de la floraison, et leur maturité est atteinte après accumulation d'une certaine somme de températures après floraison (GDH). Ben Mimoun et DeJong (1999) ont démontré une forte corrélation entre le temps thermique qui sépare la floraison de la récolte et le nombre de jours de croissance chez quelques cultivars de pêcher. L'augmentation de la température pendant la période de post-floraison entraîne un raccourcissement de la durée de croissance du fruit et anticipe la date de récolte. Plusieurs auteurs, notamment Day et al. (2008), ont confirmé que les températures élevées après la floraison réduisaient la durée de développement des fruits et accéléraient leur croissance en avançant ainsi la date de récolte.

L'augmentation de la température réduit fortement le temps nécessaire pour atteindre la maturité des fruits (Adams et al., 2001), et les récoltes plus précoces donnent des fruits de plus petits calibres (Day et al., 2008; Niezderholzer, 2014). Ceci s'explique du fait que l'arbre ne peut pas fournir des ressources carbonées assez rapidement pour soutenir le taux de croissance potentiel des fruits précoces, associé à un rythme élevé d'avancement de leur phénologie (Lopez et DeJong, 2007). Il est donc nécessaire de bien gérer l'éclaircissage afin d'optimiser le calibre final des fruits (Day et al., 2008). Cependant, Rodrigo et Herrero (2002) ont montré au contraire un développement de fruits de gros calibres avec l'augmentation des températures, étant donné que ces conditions entraînent une diminution du taux de nouaison, réduisant les compétitions entre les fruits. Tous ces changements auront par ailleurs un impact sur la qualité organoleptique des fruits.

3. Effets sur la croissance végétative et la physiologie des arbres

Le changement climatique a des impacts importants sur la phénologie chez plusieurs espèces fruitières en induisant une croissance végétative plus précoce (Doi, 2007; Hänninen et Tanino, 2011). D'après Erez et al. (2000), le problème majeur rencontré chez les arbres à noyaux cultivés

sous serre dans des conditions de températures élevées est le développement végétatif excessif qui peut se manifester simultanément à la floraison, entraînant une compétition entre les bourgeons végétatifs et les organes reproducteurs. Cette croissance végétative importante peut affaiblir la compétitivité des fruits vis-à-vis des ressources en particulier carbonées, et engendrer une plus forte chute des fleurs et des jeunes fruits.

La croissance des plantes est contrôlée par une multitude de processus physiologiques, biochimiques et moléculaires et l'adaptation aux différents stress abiotiques comprend essentiellement des mécanismes d'acclimatation à court terme, tel que le changement d'orientation des feuilles chez les graminées, en provoquant l'enroulement des feuilles le long de leur grand axe (Hopkins, 2003). D'autres adaptations morphologiques comprennent la production de poils foliaires et de surfaces cireuses qui réfléchissent la lumière réduisant l'absorption d'énergie, ou la fermeture des stomates pour réduire la perte d'eau par transpiration (Hopkins, 2003). D'autres mécanismes sont observés sur des échelles de temps plus longues, pour répondre aux élévations de température tels que le changement de la composition membranaire et l'augmentation de la densité des stomates pour diminuer les pertes en eau (Mathur et al., 2014).

3.1. Effet sur la photosynthèse

La photosynthèse est le phénomène clé qui détermine le rendement des cultures (Ashraf et Harris, 2013). Sa réponse au réchauffement climatique demeure variable, car elle dépend des espèces, des interactions entre plusieurs facteurs à savoir la disponibilité des nutriments, l'état hydrique du sol et le rayonnement solaire (Niu et al., 2008). Selon Ashraf et Harris (2013), les conditions de température élevée sont à l'origine des altérations de différents processus chez la plante. La photosynthèse est sévèrement affectée par les fortes températures (Wang et al., 2010). Les chloroplastes, au sein desquels se déroulent les réactions photosynthétiques, sont des organites cellulaires très sensibles au stress thermique car il peut causer la destruction des membranes thylacoïdales tout en inhibant l'activité des transporteurs d'électrons associés à la membrane et les enzymes impliquées dans la photosynthèse (Ristic et al., 2008). Selon Allakhverdiev et al. (2008), il y a au moins trois principaux sites sensibles au stress dans l'appareil photosynthétique. D'abord les photosystèmes, principalement le photosystème II (PSII) et son complexe producteur d'oxygène qui est directement inactivé par la chaleur, interrompant ainsi le transfert d'électrons. L'inhibition de la réparation du PSII est due à l'endommagement de la protéine D1 (l'une des protéines qui forme le cœur du PSII) en raison de la formation d'espèces actives de l'oxygène (ROS). Le turnover de la protéine D1 est très rapide et dépend du niveau de l'éclairement. La protection de cette protéine peut se faire grâce à un système de détoxification luttant contre l'oxydation ou une capacité de dissipation de l'énergie absorbée. De plus, la restauration du PSII peut se faire grâce à la synthèse de protéines de choc thermique (HSP) qui protègent l'appareil photosynthétique

(Cornic, 2007). Par contre, l'activité du PSI reste peu sensible aux températures élevées (Hopkins, 2003). Ensuite, il existe plusieurs autres cibles pour les dommages induits par la température élevée telles que la fluidité et l'intégrité des membranes thylacoïdales, le système générateur d'ATP et les processus d'assimilation de carbone (Allakhverdiev et al., 2008). Chez la plante subissant un stress thermique, tous ces processus entraînent une réduction de la teneur en chlorophylle, soit par blocage de sa biosynthèse, soit par accélération de sa dégradation (Dutta et al., 2009). Plusieurs auteurs ont aussi démontré une réduction de la photosynthèse au-dessus d'une température de 40° à 42°C et de la conductance stomatique à cause de la diminution de l'activité de la Rubisco qui est l'enzyme responsable de la fixation du CO₂ (Morales et al., 2003; Zhao et al., 2011). Cependant, d'après Bazzaz et Sombroek (1997), une augmentation de la température moyenne de +1 à +2°C n'aura probablement pas d'impact substantiel sur la vitesse de la photosynthèse foliaire. Li et al. (2012) ont montré que la température optimale pour la photosynthèse est de 20°C chez les Lilium, et qu'au-dessus de cette valeur, il y a une perte de l'activité photosynthétique induite par le stress thermique (Figure 1).

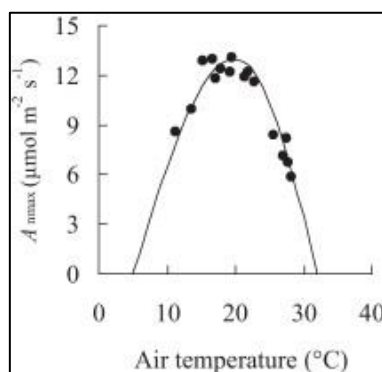


Fig. 1. Evolution de la photosynthèse nette en fonction de la température chez les Lilium sous serre (Li et al., 2012)

3.2. Effet sur la conductance stomatique

La conductance stomatique dépend de plusieurs facteurs à savoir le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), la concentration en CO₂, le déficit de pression de vapeur (VPD), la température de l'air et l'état hydrique du sol (Li et al., 2012). Cette conductance atteint un maximum à une température comprise entre 30° et 35°C chez la vigne (Winkel et Rambal, 1990). Selon Avissar et al. (1985), avant le lever du soleil, les stomates sont fermés à cause de la faible intensité lumineuse ; immédiatement après le lever du soleil, les stomates s'ouvrent et la conductance stomatique atteint un maximum vers 10h du matin (figure 2). La température élevée de l'air qui intervient durant l'après-midi entraîne une fermeture des stomates, et une augmentation de la température des feuilles, par suite de la limitation du flux de chaleur latente de vaporisation (diminution du flux de transpiration). A la fin de la journée, la conductance stomatique peut

atteindre un deuxième maximum quand il y a baisse de la température de l'air et que la radiation globale demeure suffisante pour maintenir les stomates ouverts. En conséquence, une augmentation de la transpiration est alors possible.

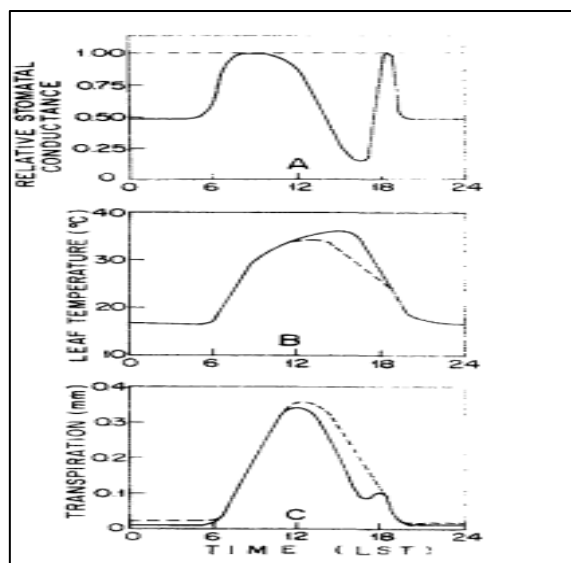


Fig. 2. Évolution journalière de la conductance stomatique relative, de la température des feuilles et du taux de transpiration du tabac, *Nicotiana tabacum*, var "Samsun" (Avisar et al., 1985).

4. Effets sur la qualité des fruits

La qualité est un concept qui englobe les propriétés sensorielles (apparence, texture, goût et arôme), la valeur nutritive (vitamines, minéraux,...), les propriétés physico-chimiques et la sécurité alimentaire du fruit. Elle est étroitement liée au climat, et plusieurs conséquences des changements climatiques ont été observées sur diverses espèces. Toutefois l'effet du changement climatique sur les attributs de qualité reste encore peu étudié (Sugiura et al., 2013). Les pêches et les nectarines sont des fruits climactériques caractérisés par une biosynthèse importante de l'éthylène au début de la maturation, qui est associée à des variations de la sensibilité vis-à-vis de l'hormone elle-même et à des variations de couleur, de la texture, des arômes et d'autres caractéristiques biochimiques (Crisosto et Costa, 2008). L'augmentation de la température accélère le mûrissement des fruits et déclenche la production d'éthylène (Budde et al., 2006;Crisosto et Costa, 2008).

Les désordres physiologiques pouvant survenir en post-récolte dépendent des facteurs agissant pendant la saison de culture et le développement des fruits (Ferguson et al., 1999). L'augmentation de la température entraîne des changements de la composition biochimique du fruit (Sugiura et al., 2013). Sur plusieurs espèces, les fortes températures engendrent une diminution de l'acidité titrable, du pH et de la fermeté des fruits, et favorisent l'accumulation des sucres solubles totaux (Marsh et al., 1999; Bergqvist et al., 2001). En ce qui concerne les anthocyanes (métabolites secondaires responsables en grande partie de la coloration rouge des fruits), leur biosynthèse est négativement corrélée à l'augmentation de la température (Dokoolzian et Bergqvist, 2001). Divers

auteurs, dont Sugiura et al. (2013), ont ainsi démontré que l'accumulation des anthocyanes décroît à une température supérieure à 25°C chez la pomme.

Selon McKeown et al. (2006), la température agit sur les réactions biochimiques catalysées par différentes enzymes, mais au-dessus d'un certain seuil, les enzymes peuvent perdre leur fonctionnalité. Ces auteurs ont montré que l'augmentation de la température a tendance à diminuer la teneur en vitamines et s'oppose à l'accumulation des polyphénols (Bergqvist et al., 2001). Enfin, il est avéré que la température subie par le fruit en pré-récolte peut impacter ultérieurement sa réponse vis-à-vis des traitements thermiques de conservation post-récolte. Ainsi, le chilling injury peut apparaître sur les fruits ayant subi un stress haute température au cours de leur développement (Ferguson et al., 1999).

CONCLUSION PARTIELLE, ET ENONCE DE LA PROBLEMATIQUE

Ces dernières années, le réchauffement global ne cesse d'augmenter, et le maintien des cultures dans leurs zones de production actuelles sous cette contrainte climatique est un enjeu majeur. Plusieurs mesures peuvent être prises pour faire face à ce défi. La plasticité de la réponse thermique dépend des espèces, et certaines d'entre elles pourront s'acclimater aux nouvelles conditions thermiques. Cependant ce changement provoque de manière générale une baisse de la photosynthèse et de l'assimilation du CO₂. Concernant le développement de la plante, il est avéré que les saisons chaudes entraînent une avancée générale de la phénologie et une chute importante des boutons floraux et jeunes fruits. Ceci est d'autant plus dommageable que les changements climatiques sont toujours associés au risque d'accroissement des maladies et de prolifération des ravageurs qui entraînent des pertes importantes de rendement (Peltonen-Sainio et al., 2010). Il est donc important de choisir des variétés ayant de faibles besoins en froid ou des besoins plus élevés en chaleur afin de limiter les risques de floraison étalée et /ou précoce; ou de choisir des variétés à croissance du fruit plus longue et peu sensible aux effets du réchauffement sur la qualité.

L'étude de l'effet des stress thermiques est une problématique complexe qui inclut plusieurs acteurs à la fois. Les recherches nécessaires dans ce domaine se situent au croisement de diverses disciplines, à savoir la climatologie, l'écophysiologie et la physiologie pour tenir compte des différents aspects de développement soumis à l'influence des températures (Legave, 2007).

Dans ce travail, la température est la variable climatique étudiée et notamment l'effet de son évolution au cours du cycle du pêcher. Les deux questions posées sont ainsi les suivantes :

- Quelles sont les conséquences de l'augmentation de la température sur le développement végétatif et reproductif du pêcher ?
- Quel est leur impact sur le rendement et la qualité des fruits ?

MATERIEL ET METHODES

1. Présentation du site expérimental et du matériel végétal

L'étude a été effectuée dans l'Unité de Recherche Plantes et Systèmes de culture Horticoles, sur le site expérimental Saint Paul, localisé à l'INRA Avignon. Notre travail a consisté à suivre le comportement du pêcher suite à une augmentation de la température. L'essai a été conduit sur quarante arbres de la variété de nectarine MAGIQUE® Maillarmagie COV, greffés sur le porte greffe CADAMAN® AVIMAG (INFEL® 7652) en Août 2011 et cultivés en pots de 50 litres remplis de tourbe mélangée à du terreau, depuis février 2012. Trente-cinq arbres (ayant hiverné à l'extérieur) ont été placés juste après la pollinisation (28/03/2014) dans 3 compartiments de serre permettant d'imposer des climats différents pendant les phases de développement du fruit :

- Compartiment 1 (+5°C jour et nuit): 2 lignes de 5 arbres (annexe A)
- Compartiment 2 (+0°C par rapport à l'extérieur : témoin): 3 lignes de 5 arbres (annexe B)
- Compartiment 3 (+2°C jour et nuit) : 2 lignes de 5 arbres (annexe C)

Un système d'irrigation avec électrovanne et programmateur a été mis en place permettant d'assurer une irrigation optimale au cours de l'expérimentation (irrigation jusqu'à drainage). Une fertilisation azotée au début du printemps et à la dernière phase du développement du fruit a été réalisée par un engrais NPK (15-9-30); à raison de 5kg dilués dans 80 litres d'eau (soit [62.5g/l]), diffusés sur la semaine, à chaque arrosage, et avec une pompe doseuse réglée à 2%. La température de la serre est régulée par rapport au climat extérieur. On comparera les 3 niveaux de température (extérieur, +2°C et +5°C, cf. ci-dessus) et 2 périodes d'applications du stress thermique :

- Période 1 : du 28/03 au 15/05
- Période 3 : du 06/06 à la récolte

Tous les arbres sont placés à la même température qu'à l'extérieur durant la deuxième période de développement : du 16/05 au 05/06/2014. Sauf pour le compartiment 1, la température est passée de +5°C à +2°C pendant cette période.

Pour chaque modalité, 5 arbres sont suivis, soit au total 40 arbres :

- 5 arbres sont conduits à l'extérieur durant tout l'essai (annexe D)
- 5 arbres sont conduits en serre à une température similaire à la température extérieure
- 5 arbres subissent un stress thermique de +2°C appliqué pendant la période 1 : du 28/03 au 15/05/2014
- 5 arbres subissent un stress thermique de +5°C appliqué pendant la période 1 : du 28/03 au 15/05/2014

- 5 arbres subissent un stress thermique de +2°C appliqué pendant la période 2 : du 06/06 à mi-Juillet 2014
- 5 arbres subissent un stress thermique de +5°C appliqué pendant la période 2 : du 06/06 à mi-Juillet 2014
- 5 arbres subissent un stress thermique de +2°C pendant les périodes 1 et 2
- 5 arbres subissent un stress thermique de +5°C pendant les périodes 1 et 2

Le tableau 2 résume les 8 traitements réalisés pendant l'essai :

Tab. 2. Les 8 traitements thermiques réalisés pendant l'essai

Traitements	Période1 28/03 au 15/05/2014	Période 2 16/05 au 05/06/2014	Période3 06/06 à mi-juillet
1	extérieur	extérieur	extérieur
2	+0°C	+0°C	+0°C
3	+0°C	+0°C	+2°C
4	+0°C	+0°C	+5°C
5	+2°C	+0°C	+0°C
6	+2°C	+0°C	+2°C
7	+5°C	+2°C	+0°C
8	+5°C	+2°C	+5°C

Afin d'évaluer l'effet des traitements thermiques sur le développement des arbres, 8 prélèvements de fruits ont été réalisés au cours du temps (annexe E) : à la fin des périodes 1 (15/05) et 2 (05/06), et 6 prélèvements hebdomadaires ont eu lieu durant la période 3 jusqu'à la récolte (sauf pour les traitements dont les fruits ont précocement atteint leur maturité). Egalement, 4 prélèvements de feuilles ont été effectués au cours de l'essai.

2. Mesures climatiques

Au cours de l'essai, les températures et l'humidité relative de l'air à l'intérieur des différents compartiments de la serre sont suivis en utilisant 2 abris ventilés équipés de sonde de température et d'hygrométrie dans chaque compartiment. Toutes ces mesures sont nécessaires pour évaluer la variation de la température minimale, moyenne et maximale par jour et pour calculer le déficit de pression de vapeur (VPD) et le temps thermique. Le VPD étant la différence de pression de vapeur entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air et la quantité maximale que l'air peut contenir à sa saturation (e_{sat}). Il est calculé selon la fonction suivante :

e_0 : pression de vapeur à saturation à 0°C = 6.1121 [mbar=hPa]

e_{sat} : $e_0 \cdot \exp(17.502 \cdot T / (240.97 + T))$ [hPa]

$VPD = e_{sat} \cdot (1 - RH / 100)$ [mbar=hPa]

Ces données serviront par la suite à mieux comprendre la relation entre la croissance du pêcher et les traitements thermiques.

3. Suivi de la croissance

3.1. Suivi de la croissance végétative

Cinq rameaux ont été sélectionnés dans chaque arbre sur lesquels des mesures hebdomadaires ont été réalisées pour caractériser l'impact du traitement thermique sur la croissance végétative. Vers mi-Avril on a procédé à un comptage du nombre des pousses et des rosettes issues du débourrement des bourgeons, le nombre des feuilles émergées sur chaque pousse sélectionnée et la longueur des pousses en position terminale sur chaque rameau. Pour chaque période, ont été effectuées : des mesures de la matière sèche après passage à l'étuve à 70°C pendant 48h et de la surface foliaire en prélevant un lot de 5 feuilles jeunes plutôt déployées par arbres pour chaque prélèvement et en utilisant un planimètre. Ceci permet ensuite de calculer la surface foliaire spécifique (SLA) qui est la surface de la feuille rapportée à sa masse sèche.

3.2. Suivi de la croissance et la qualité des fruits

Dès le déplacement des arbres sous serre, plusieurs mesures ont été prises afin d'évaluer l'effet du stress thermique sur la croissance des fruits : au niveau des 5 rameaux sélectionnés, le comptage des fruits noués a permis d'estimer le taux de chute physiologique. Si le taux de nouaison a très fortement varié suivant les traitements, un éclaircissage a permis de remettre les différents arbres à des niveaux de charges équivalents.

A partir du 10 avril, les diamètres de 2 fruits par rameau (10 fruits par arbres) ont été mesurés chaque semaine à l'aide d'un pied à coulisse. A chaque prélèvement, on a mesuré pour chaque fruit récolté, le poids frais, le diamètre des joues, hauteur et suture pour calculer le volume en supposant une forme sphérique du fruit ($\text{volume} = 4/3 \cdot \pi \cdot ((\text{diamètre hauteur} + \text{diamètre suture} + \text{diamètre joue})/3/2)^3$). Ensuite, les fruits ont été découpés pour estimer la teneur en matière sèche (de la chair + peau) après passage de fragments de fruit à l'étuve à 70°C. Une partie des fruits a également été plongée dans l'azote liquide en vue de la détermination ultérieure de la composition biochimique. Le nombre de fruits récoltés pour tout prélèvement dépend du taux de chute et de la

charge en fruits de l'arbre. En s'approchant de la maturité, la fermeté est analysée par Durofel. Le taux de sucre est apprécié par réfractométrie (% Brix). Il y a eu également des récoltes successives pour mesurer la conductance cuticulaire des fruits en suivant le protocole de Gibert et al. (2005), basé sur une simple mesure de la perte de poids du fruit par transpiration.

4. Suivi de la physiologie des arbres : échanges gazeux et potentiel hydrique foliaire

Des mesures de photosynthèse, de conductance stomatique, de transpiration et de température des feuilles ont été réalisées pendant les journées ensoleillées, à l'aide d'un analyseur de photosynthèse ADC de type LCA-4 sur deux feuilles par arbre avec 6 répétitions pour chaque feuille et 2 arbres par traitement. Ces mesures ont été espacées au cours du temps pour estimer l'effet des traitements thermiques sur ces différents processus. Afin de détecter l'état hydrique des arbres, des mesures de potentiel hydrique de feuille transpirante au midi solaire ont été effectuées chaque semaine pendant la troisième période, sur 2 à 3 feuilles par arbre et sur 2 arbres par traitement en utilisant une chambre à pression (bombe de Scholander modèle 3005, Soil Moisture Equipment Corp).

5. Analyses statistiques

Les données de l'essai ont été évaluées par l'analyse des variations par une ANOVA à $p=0.05$ et par un test de Tukey HSD pour les comparaisons multiples entre les modalités avec le logiciel R.

RESULTATS

1. Les données climatiques

1.1. Températures enregistrées dans les compartiments de la serre

La température est un paramètre clé pour pouvoir comprendre l'évolution des phases de croissance du pêcher. L'objectif de l'expérimentation était d'élever la température de l'air de +2°C et +5°C pendant certaines périodes clé de la croissance des fruits. Les températures journalières maximales atteintes évoluent au cours de la saison, jusqu'à atteindre près de 45°C dans le compartiment 1 (figure 3). Ces températures extrêmes pendant la période estivale coïncident avec la phase de maturité des fruits. L'augmentation de la température a pu générer des changements phénologiques en accélérant le temps thermique. Elles ont pu aussi agir sur l'activité photosynthétique ainsi que sur les flux transpiratoire chez la plante.

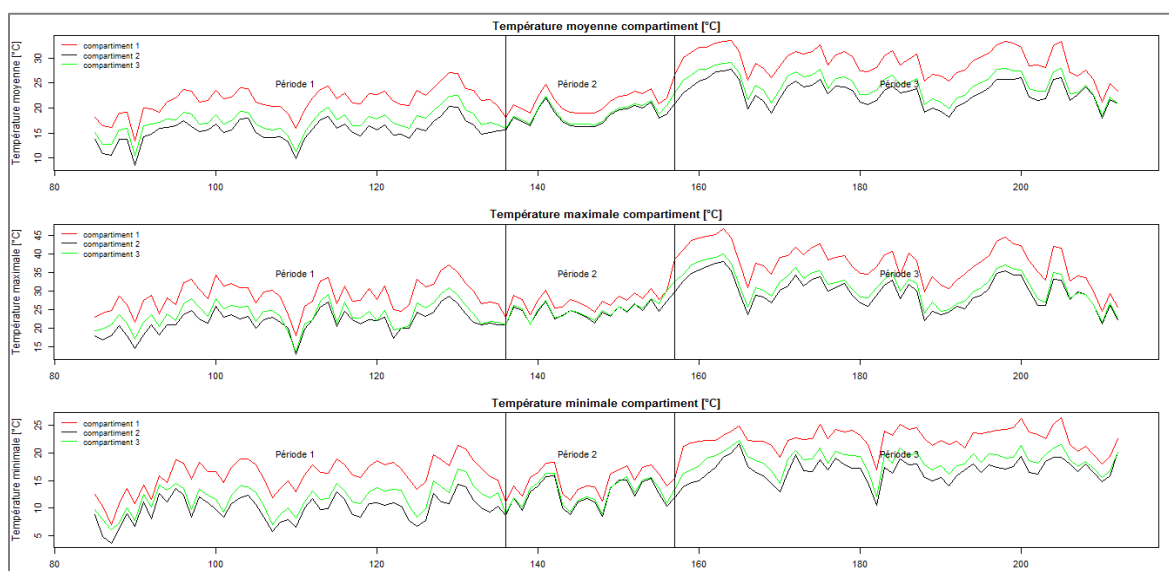


Fig. 3. Evolution des températures moyennes, maximales et minimales dans les 3 compartiments de la serre. Suivant le protocole expérimental, on a pour but d'avoir des différences de température de +2°C et de +5°C. Cependant, la visualisation de la température des trois compartiments de la serre dans un certain intervalle de temps [101-104] (figure 4), montre que ces différences peuvent dépasser +5°C pour le compartiment 1 arrivant à +8°C ponctuellement par rapport au témoin.

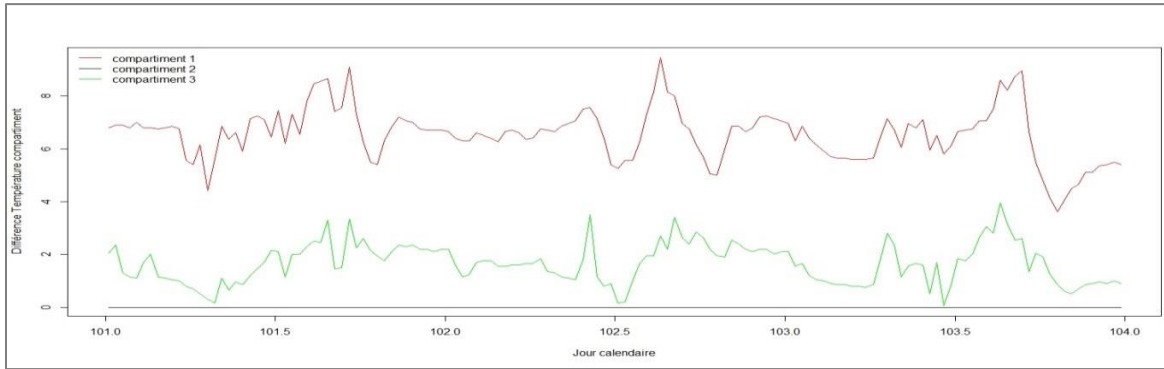


Fig. 4. Différence de température entre les 3 compartiments de la serre (Compartiment 1 à +5°C et le compartiment 3 à +2°C par rapport au compartiment 2 témoin)

La détermination des températures minimales et maximales journalières permet le calcul de la somme des degrés jour, temps thermique (figure 5).

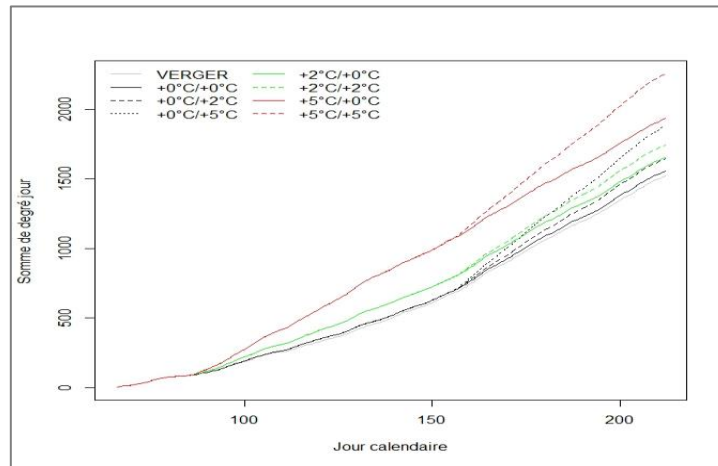


Fig. 5. Somme des degrés jour cumulée au cours du temps pour chaque traitement

1.2. Humidité relative et déficit de pression de vapeur d'eau (VPD)

La figure 7 montre l'évolution du VPD (déficit de pression de vapeur d'eau) au cours du temps pour les 3 compartiments de la serre. On constate que le VPD dans le compartiment à +5°C suivi de celui à +2°C est plus élevé que celui du témoin. Ceci indique une faible humidité relative dans ces environnements plus chauds, comme le montre la figure 6. Les forts VPD indiquent une atmosphère plus sèche, qui peut avoir un effet sur la transpiration, en augmentant la demande climatique ou au contraire en réduisant les pertes d'eau, si les stomates se ferment.

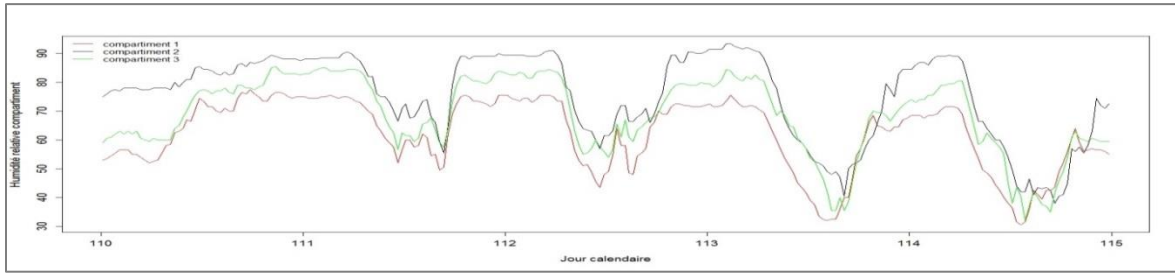


Fig. 6. Evolution de l'humidité relative dans les 3 compartiments au cours du temps

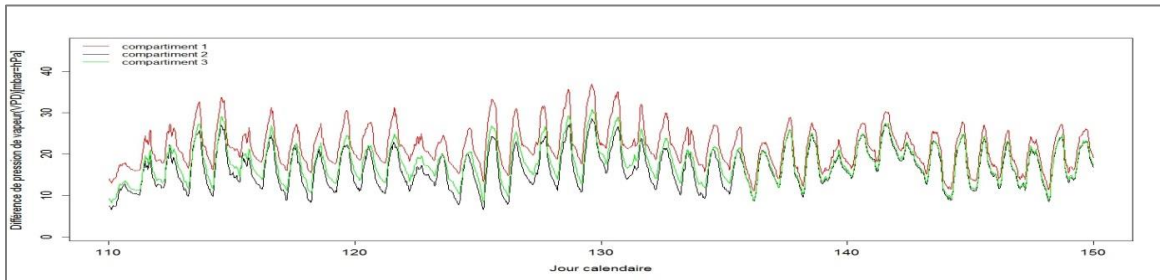


Fig. 7. Evolution du déficit de pression de vapeur d'eau dans les 3 compartiments au cours du temps

2. Croissance végétative

2.1. Proportion des bourgeons débourrés par rameau et ayant évolué en pousses

Les bourgeons peuvent soit ne pas débourrer, soit donner des axes courts (rosettes) soit donner des axes longs (pousses). Le suivi de la proportion des bourgeons ayant débourré et donné naissance à des pousses à la 1^{ère} période met en évidence un effet de l'élévation des températures sur l'accélération du taux de débourrement et le devenir des axes (rosette/pousse) (figure 8). La première mesure est réalisée lorsque les arbres sont déjà sous stress thermique, mais on ne trouve pas de différence significative entre les traitements. Durant les périodes 1 et 2, l'évolution de ce taux de débourrement initial ne montre pas d'évolution notable, quel que soit le traitement. A la 3^{ème} période, on constate une reprise importante du développement végétatif, avec beaucoup d'axes courts se transformant en axes longs (plus de 80% du total des bourgeons débourrés sont sous forme de pousses) pour tous les traitements, sans effet significatif des fortes températures sur la proportion des pousses. On peut en déduire alors que l'augmentation de la température à un stade précoce a tendance à induire un avancement de la phénologie et du développement végétatif.

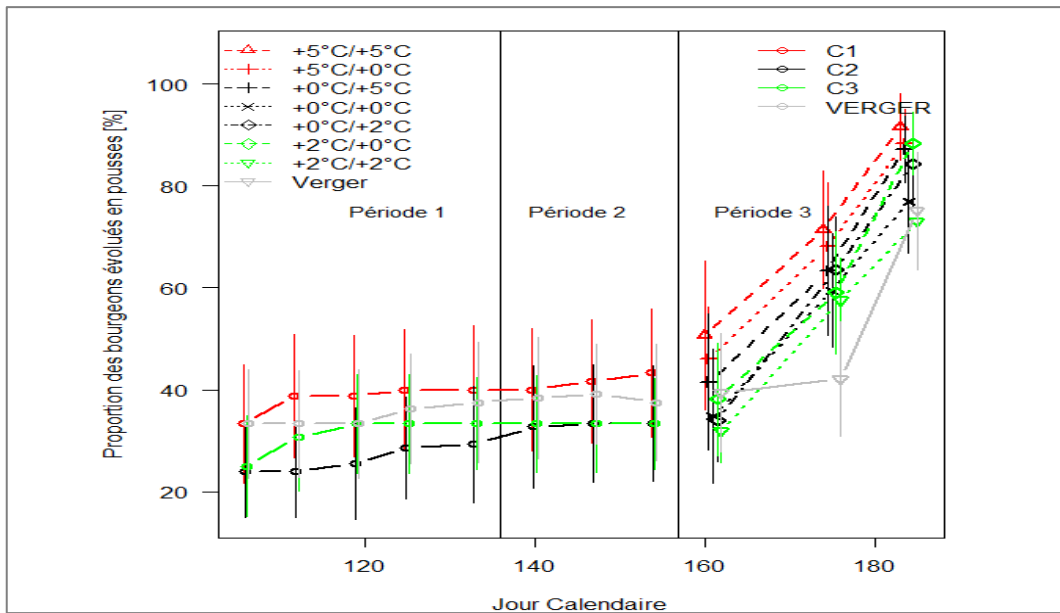


Fig. 8. Evolution du taux de débournement des bourgeons végétatifs évolués en pousses

2.2. Emergence des feuilles

La dynamique d'émergence des feuilles est marquée par 2 phases d'émergence séparées par une phase où l'émergence est faible à nulle. Le suivi du nombre des feuilles émergées sur les pousses en position terminale montre que les températures élevées durant la 1^{ère} période ont entraîné une avance du développement des feuilles mais ceci semble être moins marqué que la croissance des pousses (figure 9). A la fin de la 1^{ère} période, le nombre des feuilles émergées était significativement plus élevé pour le traitement à +5°C par rapport aux témoins. De même que pour l'élongation des pousses, l'émergence des feuilles est arrêtée durant la 2^{ème} période pour les arbres ayant subi les traitements thermiques +2 et +5°C tandis que le témoin sous serre continue à croître normalement (compartiment 2). On note à la fin de cette période qu'il n'y a pas de différence significative entre tous les traitements traduisant un rattrapage du traitement témoin. Durant la période finale, une reprise de l'émergence des feuilles a été constatée, mais la température n'a pas eu d'effet significatif en comparant les arbres subissant le stress par rapport au témoin sous serre.

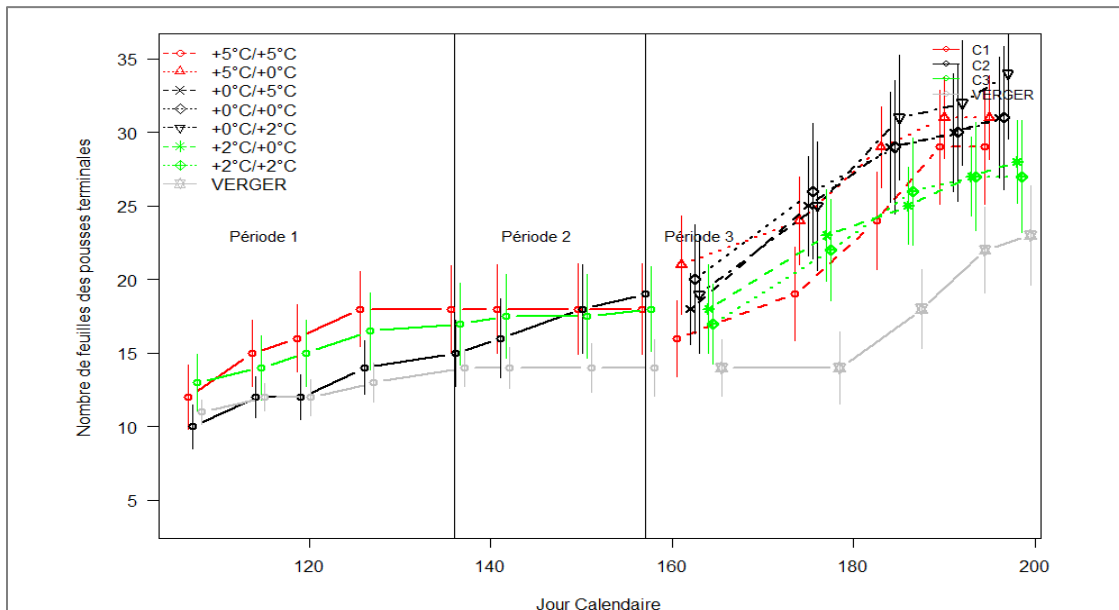


Fig. 9. Emergence des feuilles sur les pousses insérées en position terminale sur le rameau

2.3. Elongation des pousses

La dynamique d'élongation des pousses montre deux phases de croissance active, avec un net ralentissement intercalaire durant la période 2.

Le suivi de la croissance végétative en termes d'élongation des pousses montre des différences significatives au seuil de 0.05 pour l'ensemble des arbres ayant fait l'objet de traitements thermiques en comparaison des arbres témoins (figure 10). L'effet sur la croissance végétative est net durant la 1^{ère} période où l'augmentation de température a accéléré le développement végétatif. Durant la 2^{ème} période, la croissance est fortement ralentie, excepté pour le traitement témoin qui continue son développement permettant un rattrapage partiel. A la 3^{ème} période, il y a une reprise de la croissance pour tous les traitements, surtout pour les arbres placés à +0°/+5°C pour lesquels on observe une croissance accrue par rapport aux autres. Néanmoins, à la fin de cette période, il n'y a pas de différence significative entre les traitements thermiques et le témoin sous serre. Par contre, le traitement verger est significativement différent, ce qui montre que d'autres paramètres que la température influencent la croissance végétative.

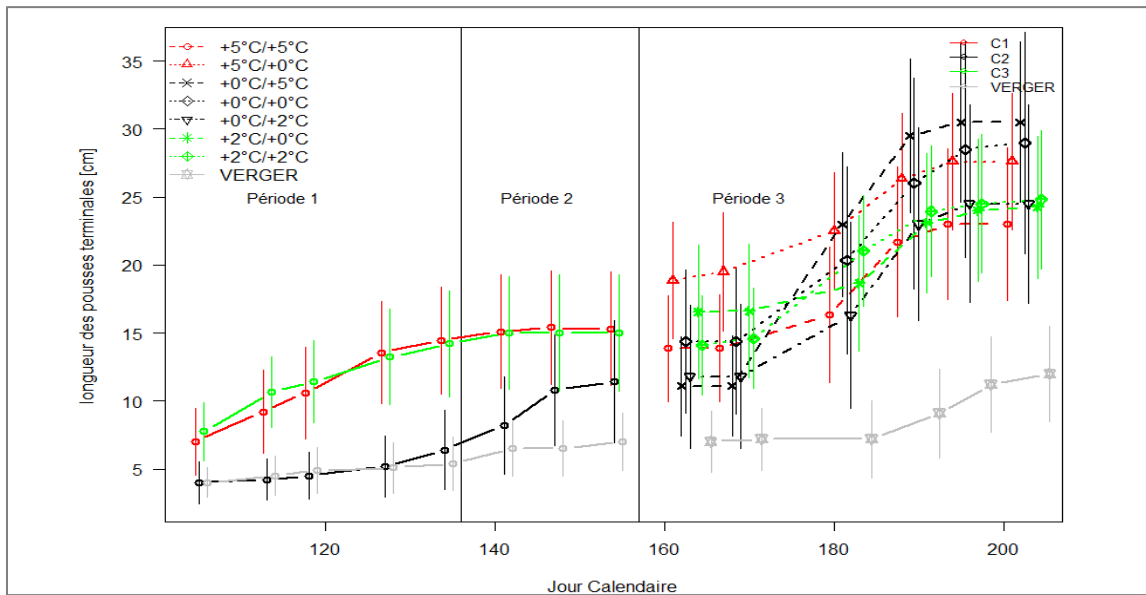


Fig. 10. Croissance des pousses insérées en position terminale sur le rameau en fonction du temps et de la période d'application du traitement thermique

Pour faciliter l'analyse de l'effet des températures sur la phénologie et la croissance du pêcher, les figures 11 et 12 représentent respectivement la vitesse de croissance (growth rate, GR), définie comme l'augmentation de la longueur des pousses végétatives terminales en fonction du temps calendaire (figure 11), et du temps thermique (figure 12). On observe deux vagues de croissance (qui correspondent aux périodes 1 et 3). Les arbres ayant subi le stress thermique à la période 1 ont une croissance anticipée par que les arbres témoin (compartiment 2), qui commencent à croître plus tardivement. Pendant la 2^{ème} vague de croissance, on constate que les arbres soumis au stress uniquement à la période 3 (traitements +0°C/+5°C et +0°C/+2°C), ont une vitesse de croissance supérieure à celles des autres. Sinon, les vitesses de croissance sont tous élevés et synchrones par rapport au jour calendaire pour l'ensemble des autres traitements (+5°C/+5°C, +2°C/+2°C, +5°C/+0°C et +2°C/+0°C) tandis que le traitement verger présente le taux de croissance le plus faible.

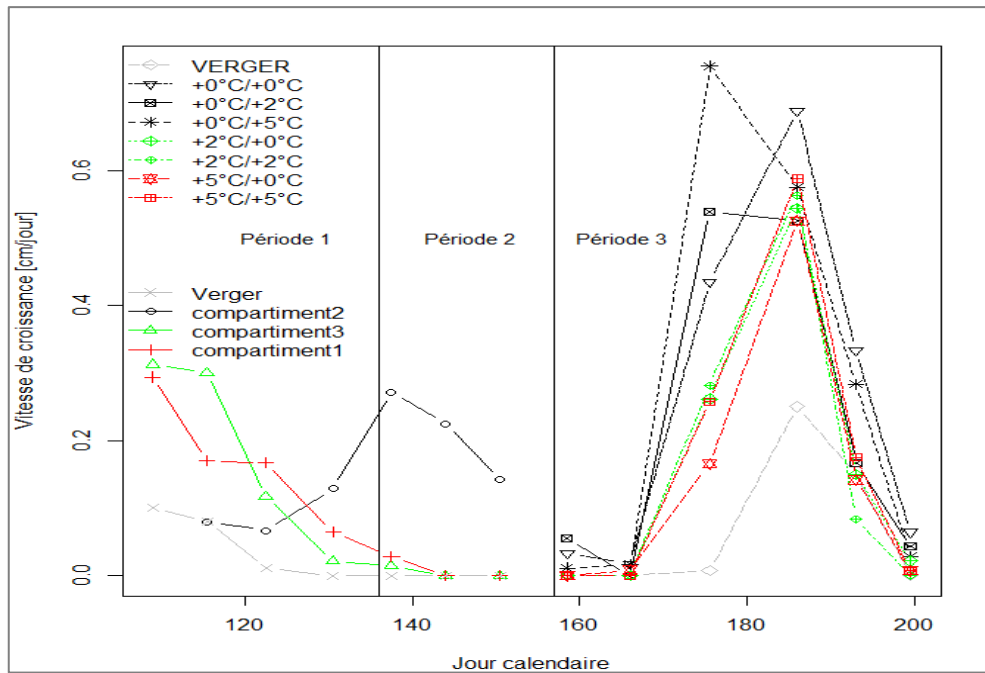


Fig. 11. Vitesse de croissance des pousses terminales [cm/jour] par unité de temps calendaire

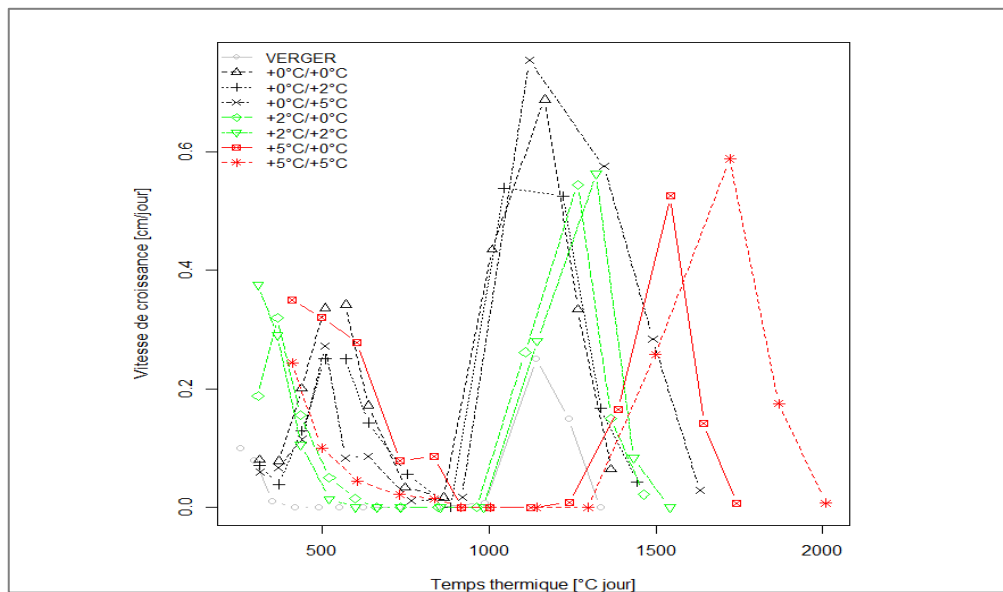


Fig. 12. Vitesse de croissance des pousses terminales [cm/jour] par unité de temps thermique [°C jour]

2.4. Estimation de la surface foliaire spécifique (SLA)

La dynamique d'évolution de la surface foliaire spécifique SLA pendant le cycle végétatif (figure 13) montre que celle-ci augmente au cours du temps. Pour tous les traitements, les différences sont significatives entre les différentes dates. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements, sauf pour les arbres du traitement verger pour lequel la SLA est significativement plus faible par rapport aux autres. Cette augmentation de la SLA indique, pour les traitements sous serre, que les feuilles ont un limbe moins épais, ce qui indique peut être une résistance mésophyllienne potentiellement moins grande, et donc une activité photosynthétique plus

importante. On note aussi que la SLA diminue continuellement sur les arbres vergers, au fur et à mesure des prélèvements.

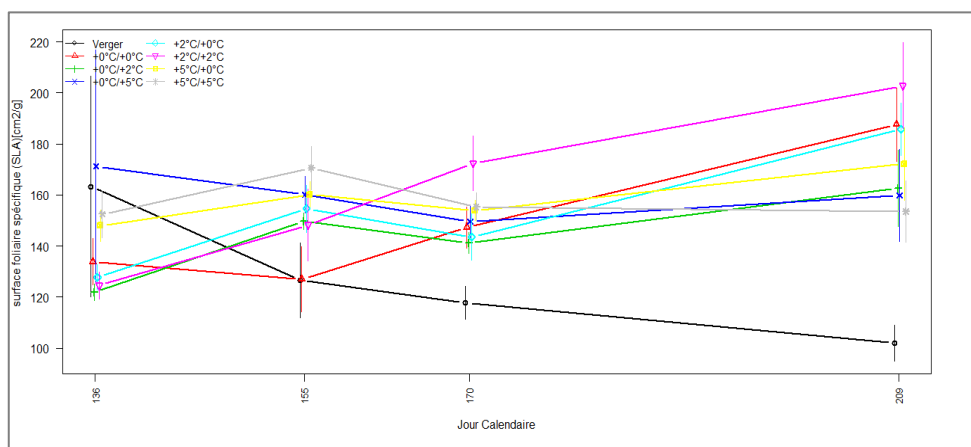


Fig. 13. Evolution de la surface foliaire spécifique au cours du temps

3. Potentiel hydrique foliaire

Les mesures de potentiel hydrique des feuilles ont été réalisées seulement à la 3^{ème} période. On constate qu'il y a une variation du potentiel hydrique en fonction du jour (figure 14), qui est liée aux conditions climatiques pendant les journées de mesure. Les potentiels les plus négatifs sont observés pour le traitement « verger ». Le traitement +5°C montre des valeurs significativement les plus faibles par rapport aux autres traitements thermiques, suivi par le traitement +2°C, lui-même plus faible que le traitement +0°C (+0°C/+0°C, +2°C/+0°C et +5°C/+0°C). Sous l'effet du traitement thermique extrême (+5°C/+5°C), l'atmosphère présente un déficit accru en vapeur d'eau VPD (figure 7), et le potentiel hydrique atteint alors la valeur minimale de -26 bars, ce qui indique une contrainte hydrique plus sévère. Les valeurs de potentiel sont plus élevées pour les autres traitements.

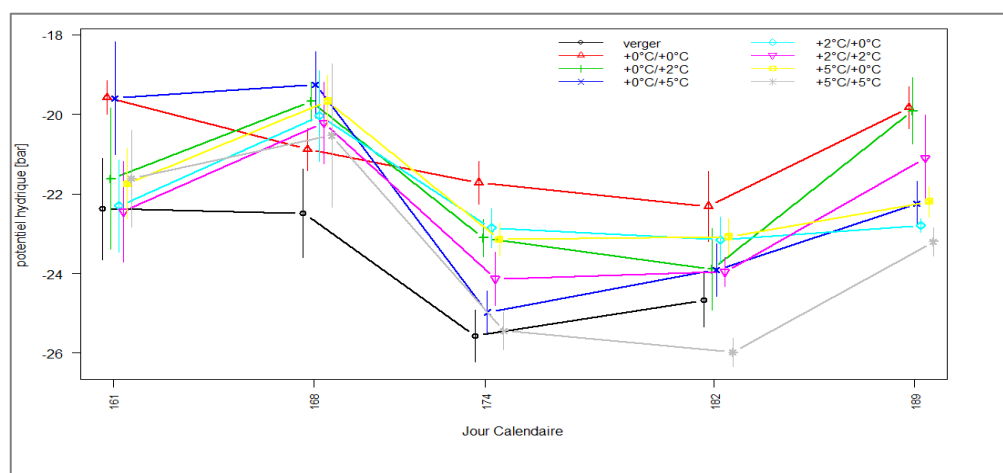


Fig. 14. Evolution du potentiel hydrique foliaire des différents traitements en fonction du temps

4. Echanges gazeux

La figure 15 illustre les variations de la conductance stomatique, de la température des feuilles, de la photosynthèse nette et de la transpiration pour les différents traitements. On constate des fluctuations au niveau des courbes d'évolution de chaque variable, ce qui est dû à l'hétérogénéité des données au cours du temps, vu l'instabilité climatique. Pour la photosynthèse, on remarque toutefois que les traitements suivent la même dynamique d'évolution au cours du temps. Des valeurs faibles voire nulles de photosynthèse ont été mesurées au jour 161 pour les différents traitements. Ces valeurs sont à relier à de fortes températures journalières qui dépassent les 35°C (atteignant 45°C dans le traitement +5°C). Cet accroissement de température a entraîné des changements au niveau des paramètres physiologiques : une chute brutale de la photosynthèse et une augmentation de la température des feuilles. Par contre, la transpiration demeure élevée permettant de bien refroidir les surfaces photosynthétiques. Au-delà du jour 161, le retour à des températures moyennes (aux environs de 30°C) a engendré une amélioration de l'activité photosynthétique, quel que soit le traitement. La figure 16 illustre bien une augmentation de la photosynthèse à une température de 28 à 32°C. Au-delà de ces valeurs, il y a une chute de l'activité photosynthétique induite par le stress thermique surtout pour le traitement +5°C où la température des feuilles dépasse 38°C. La figure 17 montre que la photosynthèse tend à diminuer avec la diminution de la conductance stomatique ; et que pour une valeur donnée de conductance, on observe une variabilité de la réponse photosynthétique.

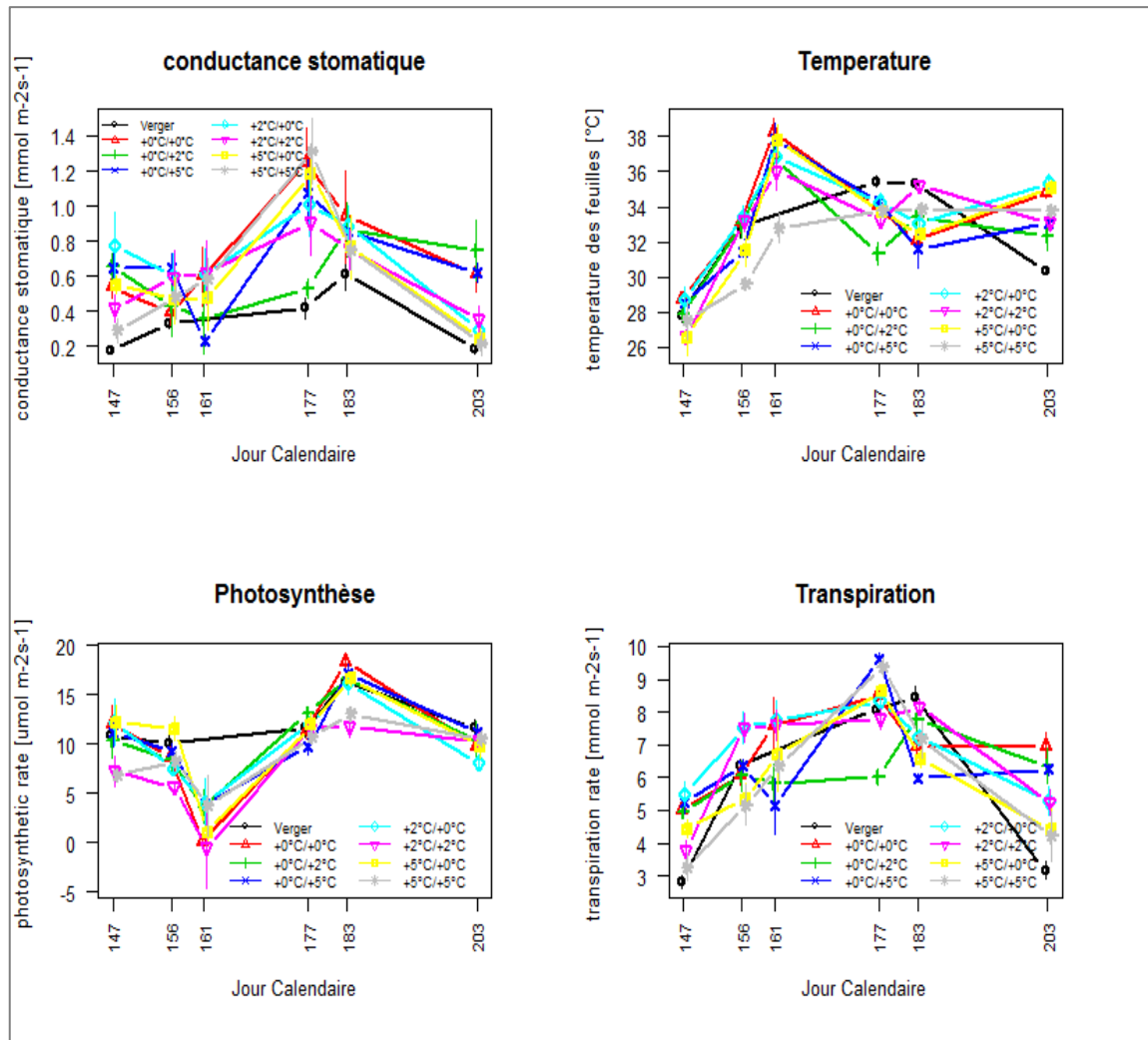


Fig. 15. Echange gazeux (conductance stomatique, photosynthèse et transpiration) et température des feuilles mesurés pendant les jours ensoleillés pour les différents traitements

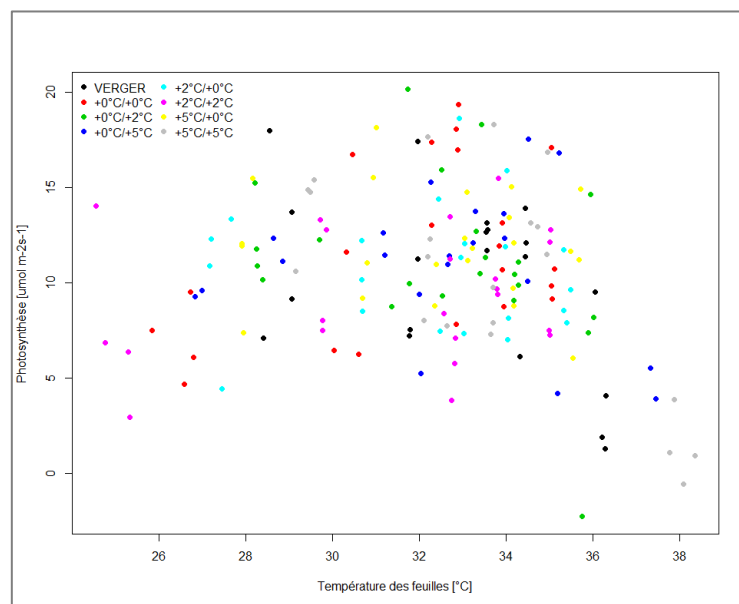


Fig. 16. Photosynthèse en fonction de la température des feuilles pour les différents traitements

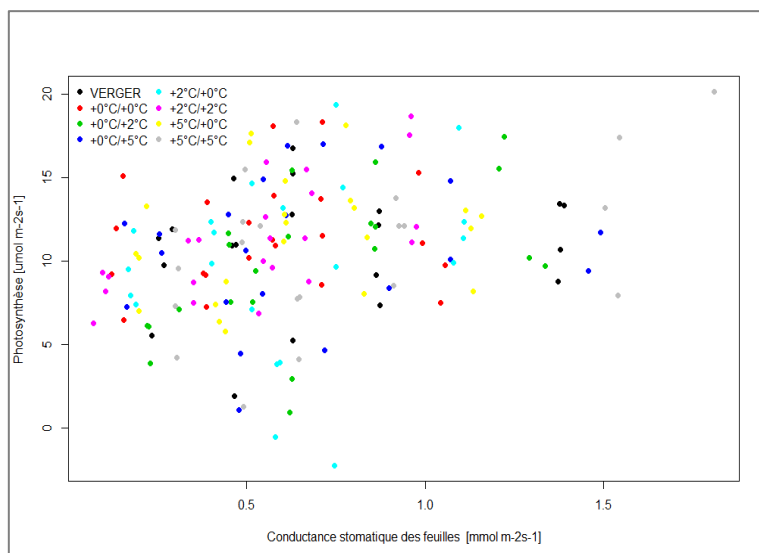


Fig. 17. Photosynthèse en fonction de la conductance stomatique des feuilles pour les différents traitements

5. Nouaison, croissance et qualité des fruits

5.1. Taux de chute physiologique des fruits

Le suivi de la nouaison montre que la chute des fruits varie selon la température appliquée (figure 18). En effet, on constate qu'à +5°C et à +2°C, la température a induit respectivement près de 70 et 90% de chute. Pour le témoin sous serre, la chute des fruits atteint seulement 20%. Ces résultats indiquent qu'une augmentation des températures a augmenté la chute des fruits d'une manière très significative. Au verger, le taux de chute a atteint presque 60% par rapport au témoin à la serre, alors même que la température était identique. Ceci peut être dû aux effets d'actions purement mécaniques liées au climat, comme le vent, potentiellement fort sur Avignon. Ou encore à cause des conditions environnementales contrôlées sous serre, qui réduisent la chute des fruits, telles que les échanges d'air entre l'intérieur et l'extérieur qui sont limités, le spectre de la lumière qui est très différent etc...

Puisque le taux de nouaison a été très fortement influencé par la température, un éclaircissage à la fin de la période 2 a permis de remettre les différents arbres à des niveaux de charges équivalents.

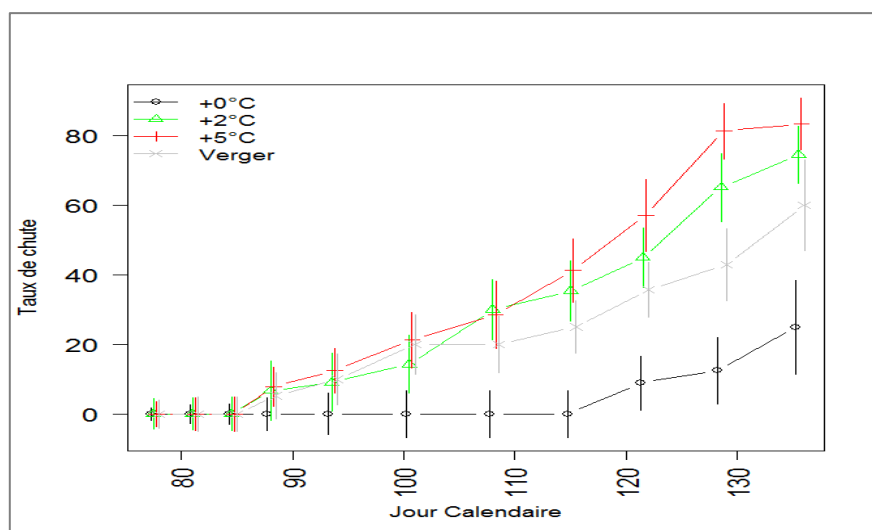


Fig. 18. Taux de chute des fruits noués au cours du temps selon les traitements (stress thermique appliqué au 87^{ème} jour)

5.2. Croissance des fruits

Le suivi hebdomadaire du diamètre des fruits (figure 19) permet de mettre en évidence des croissances et des dynamiques différentes (figures 20 et 21) selon les traitements thermiques. En particulier, l'élévation des températures à +5°C a eu un effet significatif à la 1^{ère} période. Ces différences s'amplifient entre les traitements thermiques et les témoins au cours de la 2^{ème} période. Concernant les arbres subissant le stress thermique pendant la 3^{ème} période, la température n'a pas eu d'effet significatif sur la croissance des fruits. Les différents traitements thermiques n'ont pas induit d'effet significatif sur le calibre final des fruits. Seul le traitement verger se montre significativement différent des autres traitements à la fin de la 3^{ème} période, les fruits arrivant en sur-maturité et perdant leur fermeté.

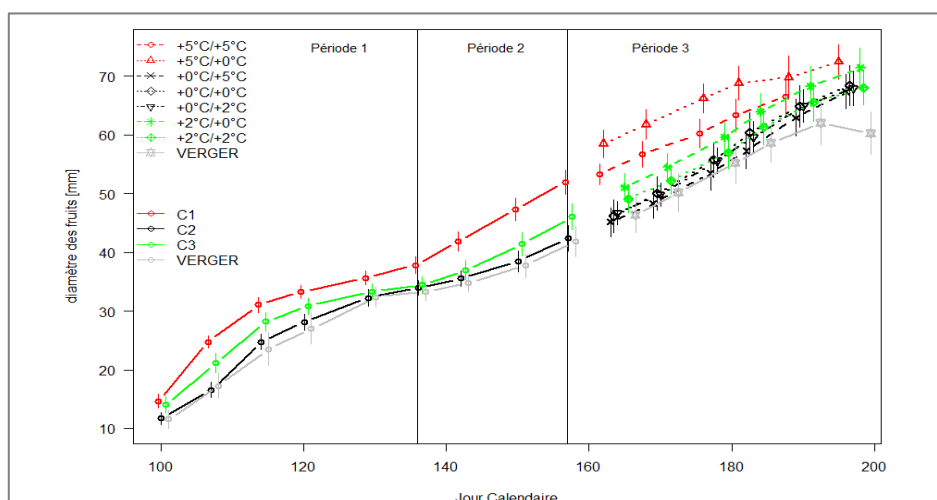


Fig. 19. Croissance diamètre des fruits en fonction du temps et selon le traitement thermique réalisé

La vitesse de croissance est définie par l'augmentation du volume des fruits par unité de temps calendaire (figure 20) ou thermique (figure 21) ; cette variable a été estimée pendant le développement du fruit, en fonction de la mesure des diamètres. La croissance des fruits apparaît bien selon les 3 phases, avec une 1^{ère} phase correspondant à la phase de division cellulaire, une phase de croissance faible ou nulle (2^{ème} phase correspondant au durcissement du noyau) et une dernière phase avec une croissance importante (phase d'expansion correspondant à la période 3). Les vitesses de croissance sont différentes entre les différents traitements, et les dynamiques sont légèrement décalées. En effet, le traitement +5°C/+0°C montre au début de la période 3 (figure 20), une vitesse de croissance très importante, comme il est caractérisé par une maturité plus précoce par rapport aux autres traitements qui continuent à croître normalement.

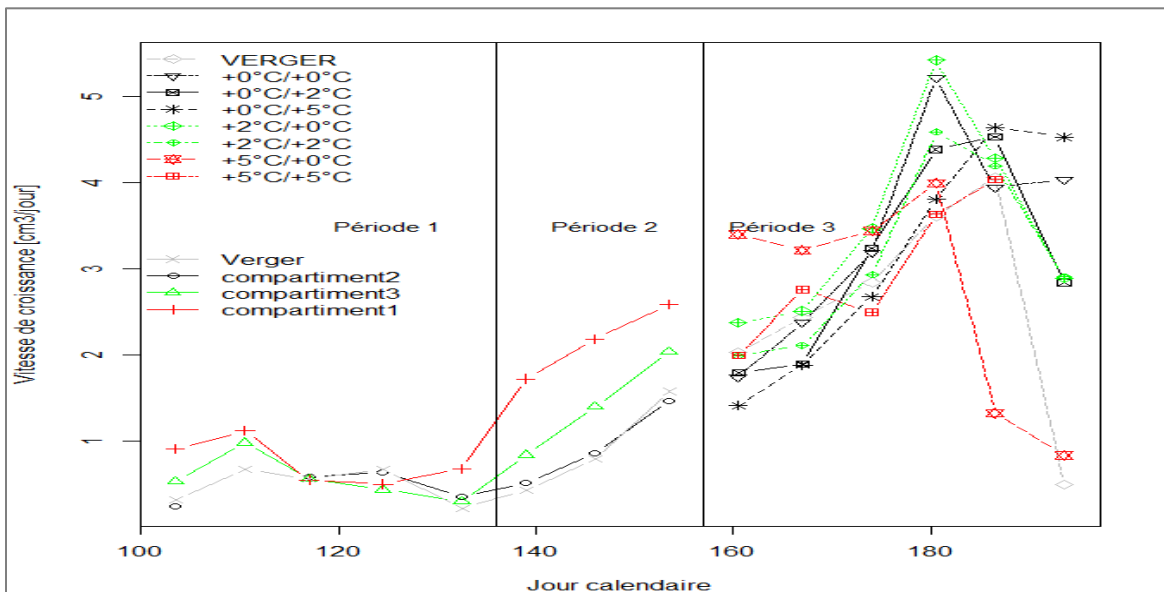


Fig. 20. Vitesse de croissance des fruits [cm³/j] par unité de temps calendaire

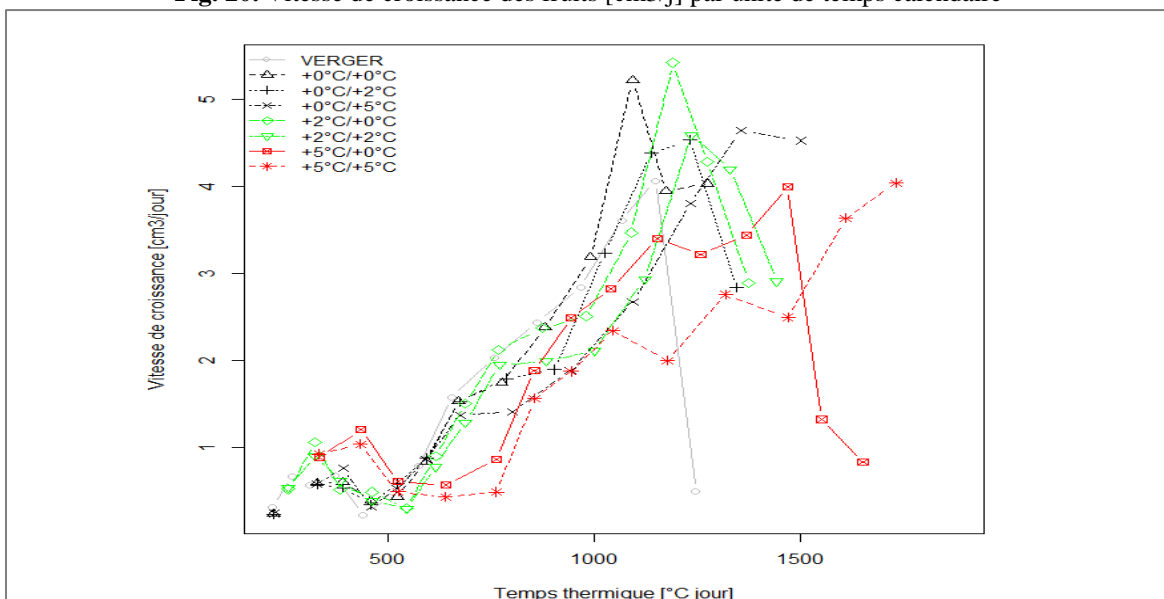


Fig. 21. Vitesse de croissance des fruits [cm³/j] par unité de temps thermique [°C jour]

5.3. Qualité des fruits

5.3.1. Fermeté des fruits

La fermeté est un critère principal pour juger l'état de maturité des pêches. On remarque une diminution de la fermeté au cours de la phase de maturation des fruits (figure 22). Le traitement thermique à $+5^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$ induit une avance de la maturité de près de 20 jours, suivi par les traitements $+5^{\circ}\text{C}/+0^{\circ}\text{C}$, $+2^{\circ}\text{C}/+0^{\circ}\text{C}$ et $+2^{\circ}\text{C}/+2^{\circ}\text{C}$. Toutefois, il n'y a pas d'effet significatif de l'augmentation des températures dans la phase finale de développement du fruit (traitements $+0^{\circ}\text{C}/+2^{\circ}\text{C}$ et $+0^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$) sur leur date de maturité par rapport au témoin $+0^{\circ}\text{C}/+0^{\circ}\text{C}$.

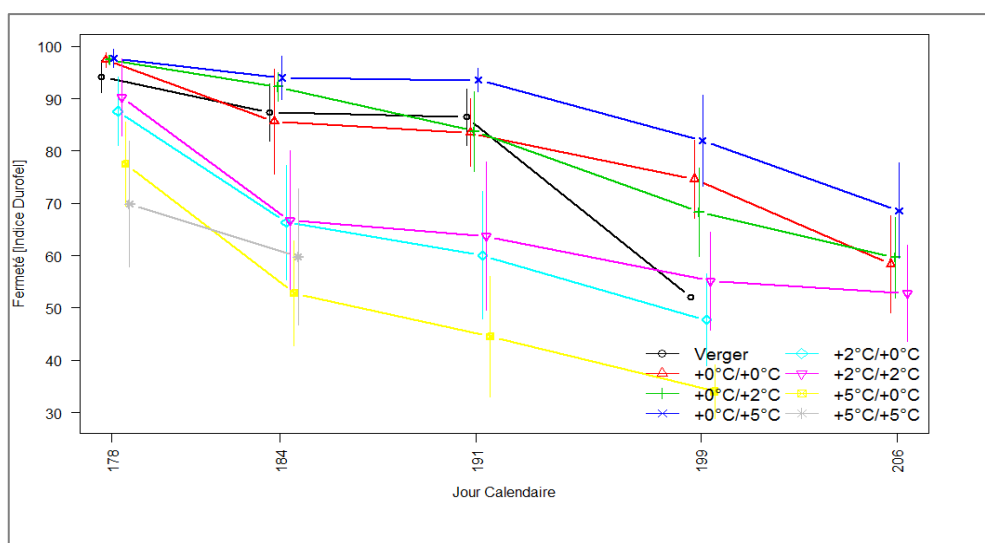


Fig. 22. Evolution de la fermeté des fruits au cours de la maturité pendant la 3ème période

5.3.2. Taux de sucre ($^{\circ}\text{Brix}$)

La figure 23 montre que le Brix varie de 9 à 15 au cours de la dernière phase de croissance pour les différents traitements. Le traitement $+5^{\circ}\text{C}$ a induit un avancement de maturité en donnant un taux de sucre significativement plus élevé au jour 184. Le Brix est susceptible de diminuer selon les dates, puisque certains prélèvements ont été réalisés sur les derniers fruits sur l'arbre, classiquement de calibre plus petit et présentant des taux de sucre plus faible. L'absence de points à certaines dates signifie que la totalité des fruits a été récoltée sur les traitements considérés.

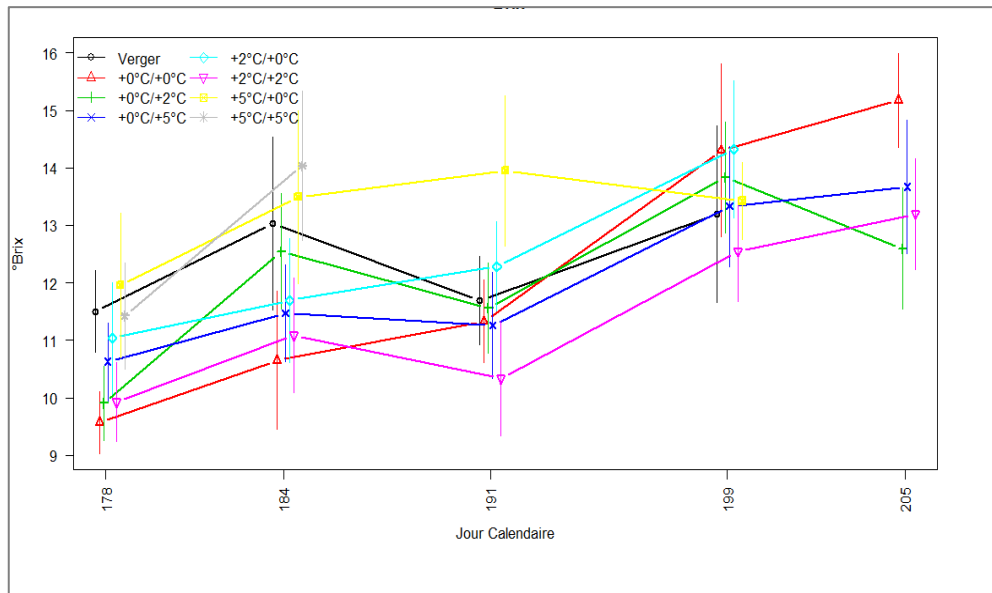


Fig. 23. Evolution du °Brix pour les différents traitements pendant la 3ème période

Avec l'avancement du stade de maturité, le Brix tend à augmenter avec en parallèle une diminution de la fermeté (figure 24). Le brix est également corrélé à l'augmentation du poids frais du fruit (figure 25). On constate que pour une masse fraîche donnée, les valeurs de Brix varient largement en fonction des traitements ; de plus on remarque que les fruits de plus gros calibre présentent un taux de sucre le plus élevé.

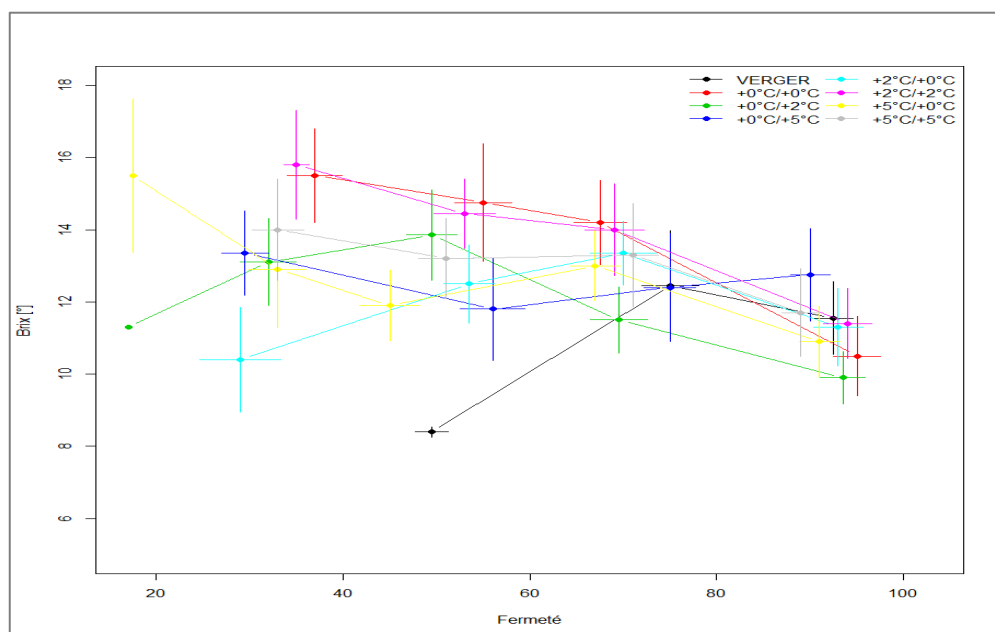


Fig. 24. Evolution du °Brix en fonction de la fermeté des fruits pour les différents traitements

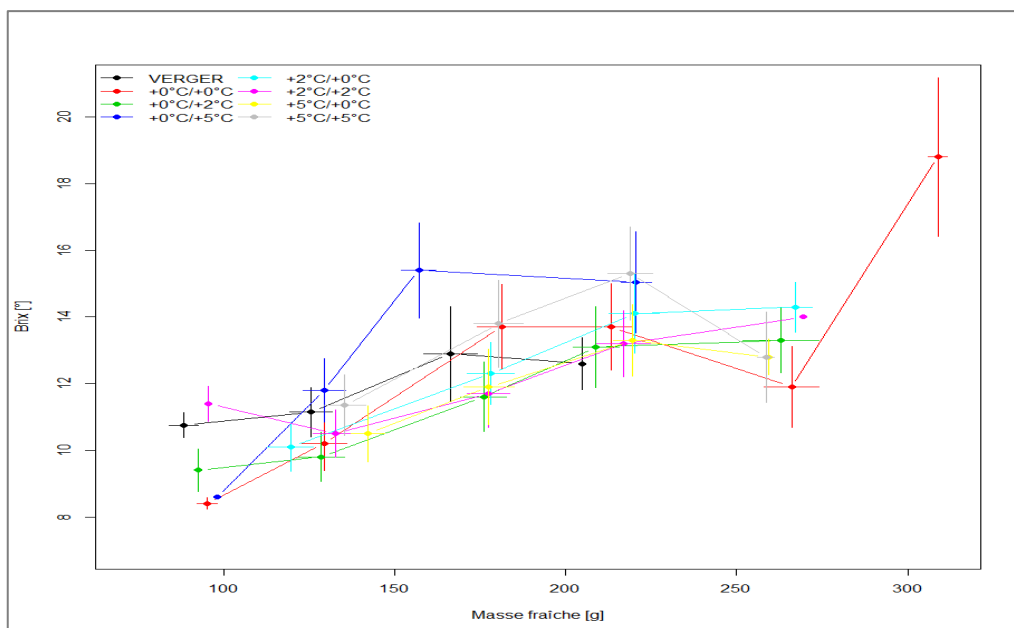


Fig. 25. Evolution du °Brix en fonction de la masse fraîche du fruit

5.3.3. Teneur en matière sèche

La figure 26 présente l'évolution de la teneur en matière sèche de la chair et de la peau. Lors des 1^{er} et 2^{ème} prélèvements, qui correspondent respectivement à la fin de la 1^{ère} et de la 2^{ème} période, on constate que le traitement à +5°C a augmenté significativement la teneur en matière sèche par rapport aux autres traitements, mais pas d'une manière significative par rapport au témoin en verger. Au cours de la 3^{ème} période, on constate généralement une augmentation de la teneur en matière sèche pour tous les traitements, avec parfois une variabilité forte qui peut être due à l'échantillonnage au cours du temps. Au dernier prélèvement réalisé (à maturité des fruits), nos résultats montrent qu'il n'y pas de différence significative de teneur en matière sèche entre les fruits issus des différents traitements et que l'augmentation des températures pendant la phase de maturité du fruit n'a pas affecté la teneur en matière sèche.

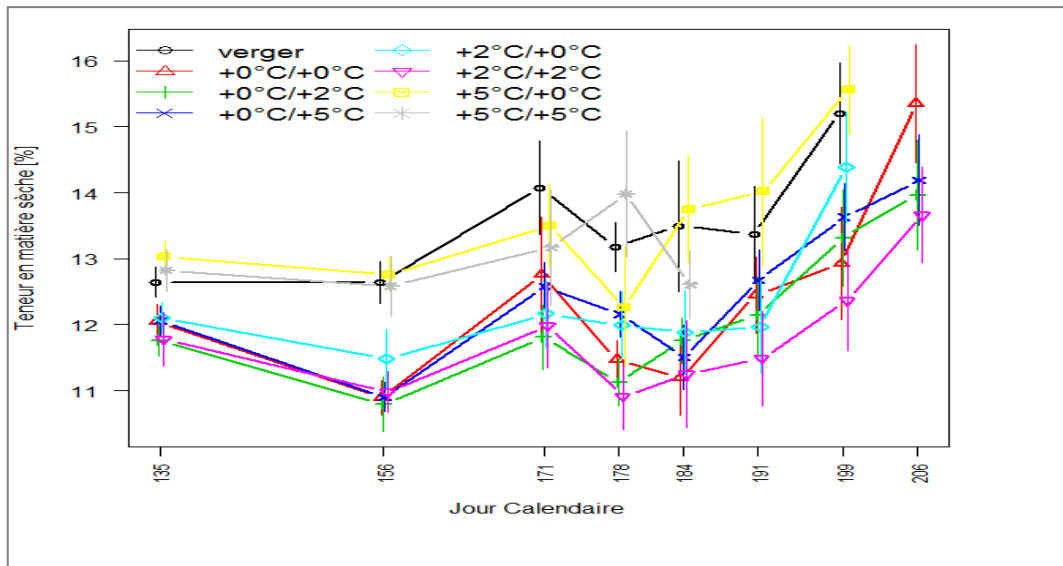


Fig. 26. Evolution de la teneur en matière sèche de la chair + peau en fonction des différents traitements pour les 8 prélèvements réalisés au cours du temps

5.3.4. Conductance cuticulaire des fruits

Les mesures de conductance cuticulaire ont montré qu'en s'approchant de la maturité, le traitement thermique à +5°C a augmenté significativement la conductance cuticulaire des fruits par rapport aux autres issus des autres traitements (figure 27). Ceci peut être expliqué par le fait que la température a accéléré la vitesse de croissance du fruit, et que l'on observe à cette date les vitesses de croissance de fruit les plus fortes pouvant entraîner l'apparition de micro-cracks à la surface des fruits.

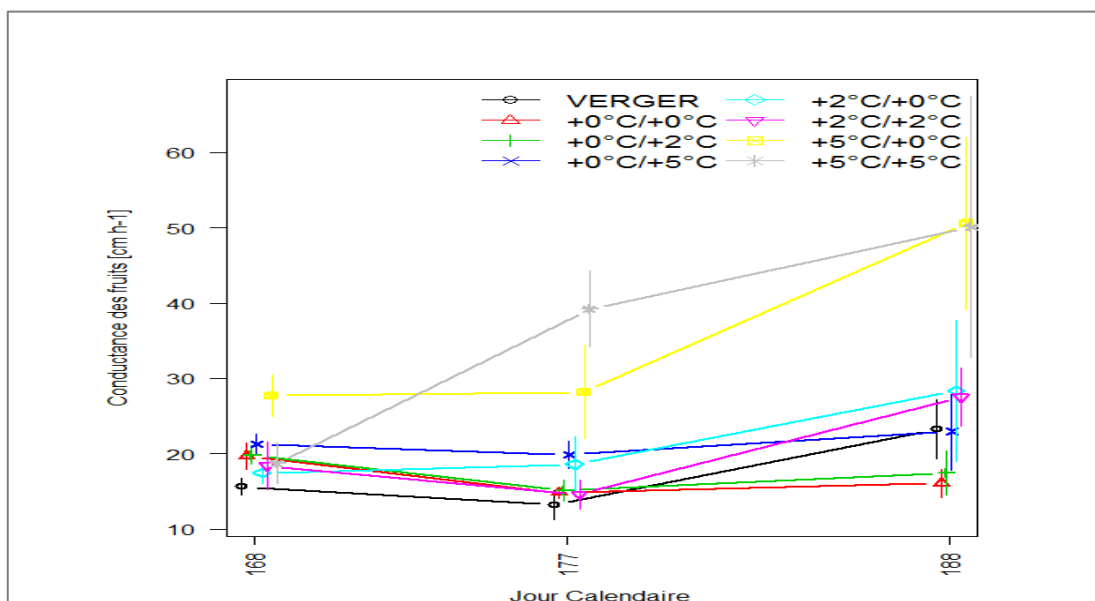


Fig. 27. Evolution de la conductance cuticulaire au cours de la maturité des fruits à la 3ème période

DISCUSSION

1. Influence de la température sur les processus de développement et de croissance

L'augmentation de la température a induit des modifications phénologiques importantes chez le pêcher. En effet, la température a engendré un avancement du cycle végétatif qui se manifeste par : un débourrement plus précoce, une accélération de la croissance végétative et une augmentation notable de la vigueur des arbres. Ces résultats confirment les études effectuées par Erez et al. (1998), qui ont montré que la phénologie du pêcher et notamment la croissance végétative est significativement avancée par l'effet des fortes températures.

La précocité du développement végétatif et l'augmentation de la surface foliaire sous l'effet de la température, ont constitué une source de carbone importante pour soutenir la demande du fruit.

En examinant les vitesses de croissance au cours du temps, on constate que les températures plus élevées pendant la 1^{ère} période, ont accéléré en premier lieu la croissance des pousses. Cette croissance des pousses est importante et coïncide avec la phase de durcissement du noyau, période où la croissance du fruit est faible [110-130 jours]. Au cours de cette phase (lignification du noyau), il y a moins de compétition pour les ressources entre les organes, puisque la croissance des fruits est faible. A contrario, on observe un ralentissement de la vitesse de croissance végétative pendant la 3^{ème} phase de croissance du fruit, période où la demande en assimilats du fruit est forte. Pendant la 3^{ème} période, et pour les traitements où la maturité est la plus précoce, environ deux semaines avant le témoin (+5°C/+5°C, +5°C/+0°C, +2°C/+2°C et +2°C/+0°C), on voit une reprise du développement végétatif après récolte.

2. Effet de la température sur la nouaison

Lors du passage des arbres sous serre, le taux de chute physiologique des fruits était nul pour tous les traitements. L'augmentation de la température a provoqué une chute importante des fruits qui atteint presque 90% pour le traitement à +5°C par rapport à la température extérieure. Ce constat a été confirmé chez d'autres espèces. En effet, Rodrigo et Herrero (2002) ont montré que l'augmentation de +6 à +7°C de la température maximale et de +3°C de la température moyenne par rapport aux conditions du verger, a induit une chute du taux de nouaison chez l'abricotier. De même, les températures élevées testées sur la tomate ont causé une perte de production liée à la diminution du taux de nouaison (Garg et Cheema, 2011). Erez et al. (1998, 2000) expliquent que cette diminution du taux de nouaison résulte d'une croissance végétative plus précoce et plus forte qui se réalise simultanément avec la fructification. Cette croissance végétative entre en compétition avec les fruits pour les ressources nutritives et en particulier carbonés. Ces résultats contredisent des études précédentes (Lescourret et al., 2000) qui ont montré que des températures élevées

semblent plus favorables à une bonne tenue de fruits, puisque le taux de chute diminue lorsque la température post-floraison augmente.

3. Réponses du potentiel hydrique et des échanges gazeux à l'augmentation des températures

Les traitements thermiques aboutissant à l'augmentation des températures journalières a conduit à de larges variations du déficit de pression de vapeur de l'atmosphère, qui conditionne le gradient de potentiel hydrique entre la feuille et l'air. En effet, en serre la régulation des températures était obtenue par différentes techniques : (i) ouverture des ouvrants permettant une meilleure ventilation, (ii) mise en route d'une ventilation forcée dans le compartiment et (iii) humidification de l'air entrant dans le système de ventilation de manière à abaisser sensiblement la température ambiante. Ces 3 systèmes sont mis en place progressivement par l'automate qui gère le climat de la serre. Le compartiment étant à la température extérieure nécessite bien évidemment une plus grande ventilation, naturelle (avec l'ouverture des ouvrants) ou forcée (avec la ventilation) et une humidification de l'air permettant un abaissement significatif de la température permettant de lutter contre l'effet de serre. Dans ces conditions, la température n'est pas la seule variable à avoir été modifiée dans cette expérimentation, l'humidité de l'air et donc le déficit de pression de vapeur l'ont été également. Le traitement correspondant aux températures les plus élevées est également le compartiment présentant la plus faible humidité et le plus fort VPD, à contrario du compartiment témoin qui a nécessité un abaissement maximale des températures via l'humidification de l'air entrant dans le système de ventilation.

On constate que le potentiel hydrique foliaire atteint une plage de valeurs négatives et que cette plage varie entre les traitements et au cours du temps. On peut déduire que les arbres répondent à l'augmentation du VPD de l'air par la diminution de la conductance stomatique afin de limiter la perte d'eau par transpiration. Ce comportement est typique d'une stratégie d'évitement de la déshydratation pour protéger l'intégrité de leur système. Cette forme de réponse, où les échanges gazeux diminuent sous l'effet de la baisse du potentiel hydrique entre -1.6MPa et -2.0MPa, a été observée par Brodribb et Holbrook (2003) en conditions naturelles. Cependant, on ne peut pas conclure si la température diminue le potentiel hydrique, car ce dernier est fondamentalement lié à plusieurs autres paramètres à savoir le comportement stomatique, le statut hydrique de l'arbre, etc...

En se référant à la figure 16, on constate un optimum d'activité photosynthétique à une température comprise entre 28°C et 32°C. Ceci est confirmé par l'augmentation de la surface spécifique foliaire témoignant ainsi une forte assimilation du carbone au niveau des feuilles, et par conséquent une augmentation de la photosynthèse (Lambers et Poorters, 1992). L'augmentation des températures, au-delà d'un seuil de 32°C a provoqué ensuite une chute de la photosynthèse. Kadir et al. (2006) ont révélé que l'exposition à de fortes températures (40°C jour/35°C nuit) réduit la photosynthèse

et la conductance stomatique, entraînant une diminution de la croissance végétative et racinaire. Cet effet dépend de la sensibilité des cultivars vis-à-vis de l'augmentation des températures ; et certains d'entre eux développent des mécanismes de résistance (telle que augmentation de la transpiration afin de refroidir les surfaces photosynthétiques) pour s'adapter à ce changement climatique. Toutefois, on constate qu'au jour 183 (figure 15), c'est-à-dire pendant la phase de croissance forte du fruit, un pic de photosynthèse quel que soit le traitement, due à une forte demande en carbone, avec une baisse ensuite après la récolte (jour 203). On note également que la diminution de la conductance stomatique a induit une baisse de la photosynthèse (figure 17). Ce qui indique que l'activité photosynthétique est limitée non seulement par l'effet de la température, mais aussi par d'autres facteurs tels que la concentration en CO₂, la conductance stomatique et la demande des organes « puits » en photo-assimilats.

L'assimilation du carbone observée ici n'est donc pas foncièrement affectée par le stress thermique. Les résultats obtenus ne permettent pas de déduire l'influence des différents traitements thermiques sur les échanges gazeux du feuillage du pêcher. Layne et Bassi (2008) montrent qu'il existe d'autres facteurs à savoir: l'éclairement, l'âge des feuilles, l'exposition des feuilles sur l'arbre, la teneur en chlorophylle, la proximité d'un organe puits comme le fruit, etc... qui influencent tous ces paramètres physiologiques. De plus, le développement végétatif est anticipé, donc la photosynthèse devrait être plus forte à cette période. Mais la durée de croissance du fruit est plus courte et la récolte est réalisée plus précocement pour certains traitements, la photosynthèse cumulée à l'échelle de l'arbre peut donc être potentiellement diminuée en conséquence. Les arbres ne peuvent pas fournir assez de ressources rapidement pour soutenir à la fois une croissance de fruits maximale associée à des taux élevés de développement végétatif (Day et al. 2008).

4. Effet de la température sur le processus de maturation et sur la qualité des fruits

Parmi les autres changements physiologiques observés, la précocité de la croissance a induit par conséquent une avancée de la maturité et de la date de récolte. Ultérieurement, des comptages de nombre de cellules de la chair des pêches sont prévus afin de confirmer si la température a effectivement affecté les divisions cellulaires ou seulement anticipé. Cependant, pas de différence significative n'a été observée sur le calibre final des fruits. Ce qui montre peut être que la température n'a pas intensifié la division cellulaire, ou encore la courte durée de croissance des fruits n'a pas permis aux cellules d'atteindre leur taille potentielle. Les courbes de croissance, de fermeté et de degré Brix montrent que les fruits à +5°C/+5°C et +5°C/+0°C, ont atteint plus précocement leur maturité physiologique. Ces résultats confirment ceux obtenus l'année dernière sur pêcher sous tunnel, où la température avait exercé un effet important sur l'avancement de la maturité et la croissance du fruit (Adra, 2013). Il semblerait que des températures précoces plus élevées, au cours des phases de multiplication cellulaire, accélèrent le processus de maturité des

fruits. Ces résultats confirment des résultats précédents où l'accroissement des températures pendant la période qui suit la pleine floraison a entraîné un raccourcissement de la durée de croissance du fruit (Ben Mimoun et Dejong, 1999) et donc un avancement de la date de récolte.

La production est très dépendante de la charge de l'arbre, une charge optimale permet d'avoir une bonne qualité. Si l'éclaircissage n'a pas eu lieu, on aurait eu peut-être des calibres différents et des modifications de la qualité des fruits à la récolte.

4.1. Conductance cuticulaire du fruit

La conductance de la surface du fruit à la diffusion de la vapeur d'eau est un paramètre important impliqué à la fois dans la croissance et la qualité des fruits, puisqu'il contrôle la perte d'eau par transpiration (Lescourret et al., 2001). La conductance cuticulaire a été mesurée suivant le protocole de Gibert et al. (2005), sur les fruits récoltés au cours de la période 3 d'application du traitement thermique.

On constate que la conductance de la surface du fruit a tendance à varier au cours du temps et en fonction du traitement thermique appliqué. Une augmentation notable de la conductance a été observée pour les traitements $+5^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$ et $+5^{\circ}\text{C}/+0^{\circ}\text{C}$, qui est plutôt lié à des vitesses de croissance plus grande, provoquant ainsi l'apparition de micro-cracks à la surface des fruits. En même temps, on remarque une augmentation de la teneur en matière sèche et de la teneur en matière sèche solubles avec l'avancement de la maturité. Ces résultats se rapprochent parfaitement aux observations de Prudent (2009) qui a montré que l'augmentation de la conductance est corrélée positivement à l'augmentation de la teneur en matière sèche et la teneur en sucres.

Cependant, la conductance cuticulaire est dépendante de plusieurs autres facteurs. Elle diffère selon les espèces et les cultivars, comme elle a tendance à varier selon les conditions de culture et le stade de développement du fruit (Lescourret et al., 2001).

4.2. Fermeté et taux de sucre ($^{\circ}\text{Brix}$)

Les pêches sont des fruits climactériques, caractérisés par une maturation assez rapide sous l'effet de l'éthylène. Cette maturité, se traduit par une perte de fermeté et une augmentation de la teneur en sucres qui constituent des éléments importants pour la détermination de la qualité.

Les résultats obtenus montrent que la température élevée a engendré une précocité de la maturité, en induisant une perte rapide de la fermeté et une augmentation de la teneur en sucres solubles.

A ce propos, Budde et al. (2006) ont constaté également que les fortes températures appliquées sur les pêches entraînent une diminution de la fermeté et de l'acidité, tout en augmentant le rapport sucres/acides.

Au contraire, chez d'autres espèces, les températures élevées jour et nuit ont engendré une dégradation de la qualité organoleptique des fruits. En effet, Wang et Camp (2000) ont trouvé que

la température (25°C et 30°C) a causé une altération de la qualité des fraises par la diminution du taux de sucres, de l'acidité titrable et le rapport sucres/acides. Shaw (1990) a conclu que la teneur en sucres solubles est fortement influencée par les conditions environnementales notamment par l'accroissement des températures (allant de 25°C à 40°C), alors que l'acidité du fruit est plutôt liée à l'expression génétique.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail consistait à connaître les conséquences de l'augmentation de la température sur le développement végétatif et reproducteur du pêcher.

Dans un premier temps, le suivi de la croissance végétative a montré un avancement important du cycle phénologique du pêcher, sous l'influence des températures élevées.

Dans un deuxième temps, notre expérimentation a permis de mettre en évidence que la température a affecté négativement le développement reproductif en augmentant très fortement la chute physiologique de petits fruits. Enfin, on a pu constater que la température élevée avait une influence déterminante sur les processus d'élaboration de la qualité et sur l'avancement de la maturité. C'est le cas des traitements à $+5^{\circ}\text{C}/+0^{\circ}\text{C}$, $+2^{\circ}\text{C}/+0^{\circ}\text{C}$ et $+5^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$ qui ont été récoltés beaucoup plus précocement à pleine maturité, deux semaines avant les témoins. On note également, un effet important de la température sur la vitesse de croissance en diamètre des fruits surtout pendant la période 1. Mais pas d'effet significatif entre les traitements n'a été signalé aussi bien sur la croissance végétative finale que sur le calibre final des fruits. Ci-dessous un schéma récapitulatif des différents effets de la température à l'échelle de l'arbre :

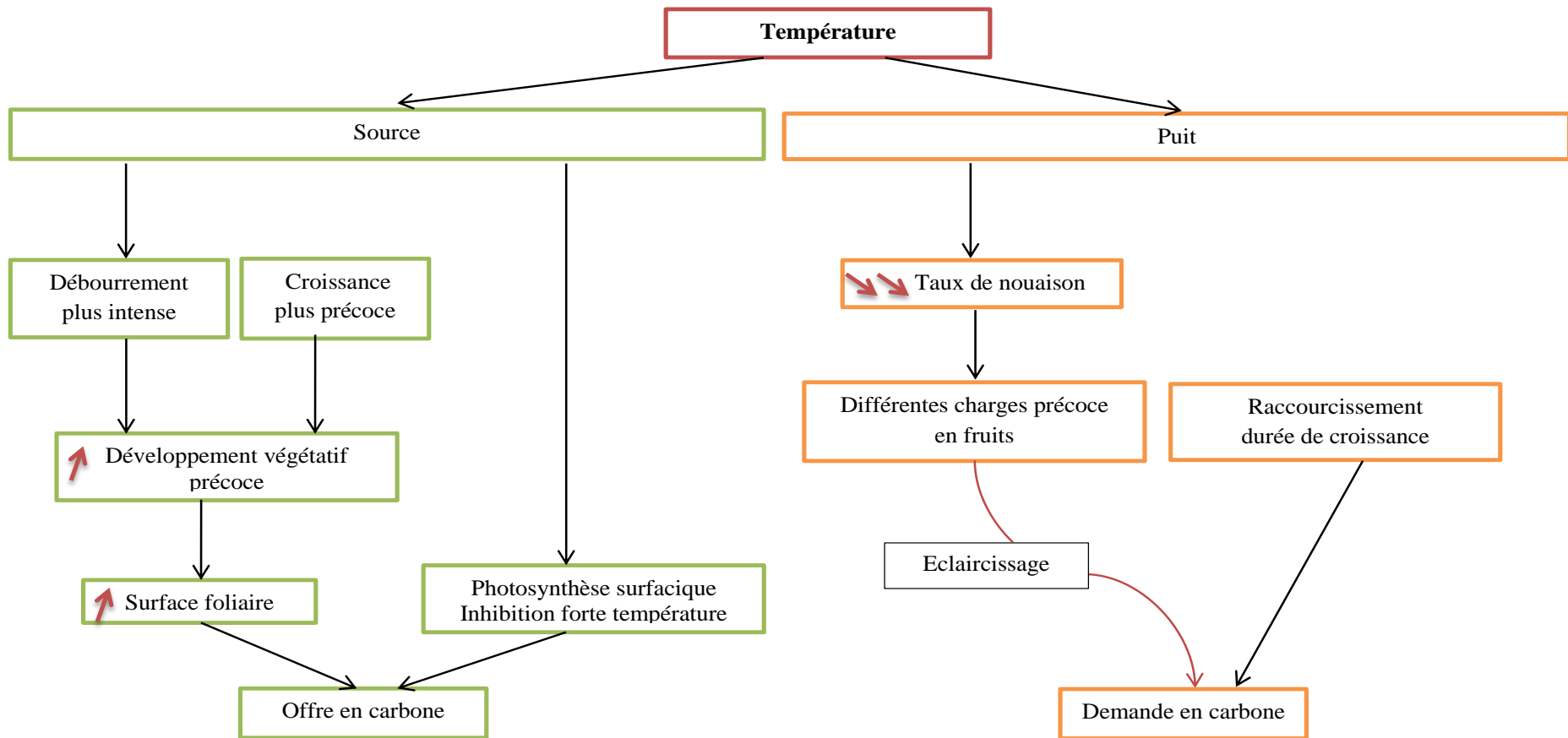


Fig. 28. Schéma présentant les différents effets de la température à l'échelle de l'arbre

Il serait important de travailler ensuite sur une caractérisation plus fine de la composition biochimique du fruit et sur la composition biochimique de la cuticule, afin de mieux comprendre les processus mis en jeu sur l'évolution de la maturité ; et de voir l'impact de la température sur l'assimilation, le transfert des assimilats et le métabolisme du fruit. Il serait aussi important de faire des mesures complémentaires de croissance d'organes, au moyen d'un capteur sensible aux micro-variations de dimension. Cette analyse de la variation de diamètre ou d'épaisseur constituerait un bon moyen pour suivre l'état hydrique de l'arbre. Enfin, il serait intéressant de suivre la température à l'échelle des organes (feuilles et fruits) et même au niveau racinaire afin d'évaluer l'impact du stress thermique sur le développement des arbres.

L'étude sur la réponse physiologique des espèces fruitières aux variations environnementales, plus particulièrement au stress thermique, permet de comprendre les mécanismes d'adaptation développés par la plante. Ceci permettra ensuite de limiter les dégâts provoqués par de courtes expositions aux températures élevées dépassant le seuil de résistance de la plante. Grâce à la bonne connaissance de ces caractères d'adaptation, il pourrait être possible de proposer des stratégies de conduite de culture (itinéraire technique), d'amélioration des plantes, ou encore la création de nouvelles variétés plus adaptées au changement climatique.

Sinon, des modalités d'adaptation comme l'introduction de nouvelles cultures dans d'autres zones plus favorables, le déplacement géographique des systèmes de production, la sélection de variétés adaptées et la modification des calendriers cultureux semblent aussi de bonnes alternatives pour lutter contre les conditions climatiques en transition (Seguin, 2003).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ Adams, S.R., Cockshull, K.E., Cave, C.R.J., 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann. Bot.* 88, 869–877.
- ❖ Adra, F. 2013. Etude des effets de l'augmentation de la température sur la croissance du pêcher et la qualité des fruits. Master Université de Lorraine, Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes. 28 p.
- ❖ Allakhverdiev, S.I., Kreslavski, V.D., Klimov, V.V., Los, D.A., Carpentier, R., Mohanty, P., 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynth. Res.* 98, 541–550.
- ❖ Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica* 51, 163–190.
- ❖ Avissar, R., Avissar, P., Mahrer, Y., Bravdo, B.A., 1985. A model to simulate response of plant stomata to environmental conditions. *Agric. For. Meteorol.*, 34, 21-29.
- ❖ Bazzaz, F.A., Sombroek, W., 1997. Changements du climat et production agricole: effets directs et indirects du changement des processus hydrologiques, pédologiques et physiologiques des végétaux. FAO, Rome, Italie, France. 406p.
- ❖ Ben Mimoun, M., DeJong, T.M., 1999. Using the relationship between growing degree hours and harvest date to estimate run-times for PEACH: a tree growth and yield simulation model. *Acta Hort.* 499, 107-114.
- ❖ Bergqvist, J., Dokoozlian N., Ebisuda, N., 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52, 1-7.
- ❖ Brodribb, T.J., Holbrook, N.M., 2003. Stomatal Closure during Leaf Dehydration, Correlation with Other Leaf Physiological Traits. *Plant Physiol.* 132, 2166–2173.
- ❖ Budde, C.O., Polenta, G., Lucangeli, C.D., Murray, R.E., 2006. Air and immersion heat treatments affect ethylene production and organoleptic quality of “Dixiland” peaches. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 32–37.
- ❖ Byrne, D.H., 2005. Trends in stone fruit cultivar development. *HortTechnology* 15, 494–500.
- ❖ Chmielewski, F.M., Rötzer, T., 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric. For. Meteorol.* 108, 101–112.
- ❖ Crisosto, C.H., Costa, G., 2008. Preharvest factors affecting peach quality. In : Layne, D., Bassi, D., (eds) *The peach : botany, production and uses*. CABI, Wallingford, pp. 536-549.

- ❖ Day, K., Lopez, G., DeJong, T.M., 2008. Using growing degree hours accumulated thirty days after bloom to predict peach and nectarine harvest date. *Acta Hort.* 803, 163-167.
- ❖ Doi, H., 2007. Winter flowering phenology of Japanese apricot *Prunus mume* reflects climate change across Japan. *Clim. Res.* 34, 99–104.
- ❖ Dutta, S., Mohanty, S., Tripathy, B.C., 2009. Role of temperature stress on chloroplast biogenesis and protein import in pea. *Plant Physiol.* 150, 1050–1061.
- ❖ Elloumi, O., Ghrab, M., Kessentini, H., Ben Mimoun, M., 2013. Chilling accumulation effects on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climates. *Scientia Hort.* 159, 80–87.
- ❖ Erez, A., Yablowitz, Z., Korcinski, R., 1998. Greenhouse peach growing. *Acta Hort.* 465, 593-600.
- ❖ Erez, A., Yablowitz, Z., Korcinski, R., Zilberstaine M., 2000. Greenhouse-growing of stone fruits: Effect of temperature on competing sinks. *Acta Hort.* 513, 417-426.
- ❖ Ferguson, I., Volz, R., Woolf, A., 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 255–262.
- ❖ Garg, N., Cheema, D.S., 2011. Assessment of fruit quality attributes of tomato hybrids involving ripening mutants under high temperature conditions. *Scientia Hort.* 131, 29–38.
- ❖ Ghrab, M., Ben Mimoun, M., Masmoudi, M.M., Ben Mechlia, N., 2014. The behaviour of peach cultivars under warm climatic conditions in the Mediterranean area. *Int. J. Environ. Studies* 71, 3–14.
- ❖ Gibert, C., Lescouret, F., Génard, M., Vercambre, G., Pastor, A.P., 2005. Modelling the Effect of Fruit Growth on Surface Conductance to Water Vapour Diffusion. *Ann. Bot.* 95, 673–683.
- ❖ Gleizer, B., Legave, J.M., Berthoumieu, J.F., Mathieu, V., 2007. Les arboriculteurs face aux changements climatiques. Evolution de la phénologie florale et du risque du gel printanier. *Infos-Ctifl*, 235, 37-40.
- ❖ Grab, S., Craparo, A., 2011. Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973–2009. *Agric. For. Meteorol.* 151, 406–413.
- ❖ Gu, L., Hanson, P.J., Post, W.M., Kaiser, D.P., Yang, B., Nemani, R., Pallardy, S.G., Meyers, T., 2008. The 2007 Eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world. *BioScience* 58, 253–262.
- ❖ Guédon, Y., Legave, J.M., 2008. Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context. *Ecol. Model.* 219, 189–199.
- ❖ Hänninen, H., 2006. Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree Physiol.* 26, 889–898.

- ❖ Hänninen, H., Tanino, K., 2011. Tree seasonality in a warming climate. *Trends Plant Sci.* 16, 412–416.
- ❖ Hedhly, A., Hormaza, J.I., Herrero, M., 2009. Global warming and sexual plant reproduction. *Trends Plant Sci.* 14, 30–36.
- ❖ Hilaire, C., Mathieu, V., Jannot, I., 2002. Chute des bourgeons floraux du pêcher. Le froid n'était pas au rendez-vous. *Infos-Ctifl*, 178, 37-40.
- ❖ Hopkins, W.G., 2003. *Physiologie végétale*. De Boeck Supérieur. 536p.
- ❖ IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- ❖ Kadir, S., Sidhu, G., Al-Khatib, K., 2006. Strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.) Growth and Productivity as Affected by Temperature. *HortScience* 41, 1423–1430.
- ❖ Lambers, H., Poorter, H., 2004. Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences, in: H. Caswell (Ed.), *Advances in Ecological Research*, *Advances in Ecological Research: Classic Papers*. Academic Press, pp. 283–362.
- ❖ LaRue, J.H., Johnson, R.S., 1989. Peaches, plums, and nectarines: growing and handling for fresh market. UCANR Publications.252p.
- ❖ Layne, D.R., Bassi, D., 2008. *The Peach: Botany, Production and Uses*. CABI.
- ❖ Ledesma, N.A., Nakata, M., Sugiyama, N., 2008. Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. “Nyoho” and “Toyonoka”. *Scientia Hort.* 116, 186–193.
- ❖ Legave, J.M., 2007. Les impacts du réchauffement global sur la phénologie des arbres fruitiers et de la vigne : quelles conséquences agronomiques ? *Journées Techniques Fruits & Légumes Biologiques*, Caen, pp. 1–8.
- ❖ Lescourret, F., Inizan, O., Génard, M., 2000. Analyse de l'étalement temporel de la floraison et influence sur la variabilité intra-arbre de la chute et de la croissance précoce des pêches. *Can. J. Plant Sci.* 80, 129–136.
- ❖ Li, G., Lin, L., Dong, Y., An, D., Li, Y., Luo, W., Yin, X., Li, W., Shao, J., Zhou, Y., Dai, J., Chen, W., Zhao, C., 2012. Testing two models for the estimation of leaf stomatal conductance in four greenhouse crops cucumber, chrysanthemum, tulip and liliun. *Agric. For. Meteorol.* 165, 92–103.
- ❖ Llácer Ill, G., Alonso Segura, J.M., Rubio Cabetas, M.J., Batlle, I., Iglesias, I., Vargas García, F.J., García Brunton, J., Badenes, M.L., 2009. Situación del material vegetal de

melocotonero utilizado en España. ITEA : Información Técnica Económica Agraria.105-1, 67-83.

- ❖ Lobell, D.B., Asner, G.P., 2003. Climate and Management Contributions to Recent Trends in U.S. Agricultural Yields. *Science* 299, 1032–1032.
- ❖ Lopez, G., DeJong, T.M., 2007. Spring temperatures have a major effect on early stages of peach fruit growth. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 82, 507–512.
- ❖ Lu, P., Yu, Q., Liu, J., Lee, X., 2006. Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change. *Agric. For. Meteorol.* 138, 120–131.
- ❖ Marra, F.P., Inglese, P., DeJong, T.M., Johnson, R.S. 2002. Thermal time requirement and harvest time forecast for peach cultivars with different fruit development periods. *Acta Hort.* 592:523-529
- ❖ Marsh, K.B., Richardson, A.C., Macrae, E.A., 1999. Early- and mid-season temperature effects on the growth and composition of satsuma mandarins. *J. Hort. Sci. Biotech.* 74, 443–451.
- ❖ Mathur, S., Agrawal, D., Jajoo, A., 2014. Photosynthesis: limitations in response to high temperature stress. *J. Photochem. Photobiol. B.: Biol.* 137, 116-26. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010
- ❖ McKeown, A.W., Warland, J., McDonald, M.R., 2006. Long-term climate and weather patterns in relation to crop yield: a mini-review. *Can. J. Bot.* 84, 1031–1036.
- ❖ Morales, D., Rodríguez, P., Dell’Amico, J., Nicolás, E., Torrecillas, A., Sánchez-Blanco, M.J., 2003. High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in tomato. *Biol. Plant.* 47, 203–208.
- ❖ Nava, G.A., Dalmago, G.A., Bergamaschi, H., Paniz, R., dos Santos, R.P., Marodin, G.A.B., 2009. Effect of high temperatures in the pre-blooming and blooming periods on ovule formation, pollen grains and yield of “Granada” peach. *Scientia Hort.* 122, 37–44.
- ❖ NeSmith, D.S., 1997. Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) leaf number as influenced by thermal time. *Scientia Hort.* 68, 219–225.
- ❖ Niu, S., Li, Z., Xia, J., Han, Y., Wu, M., Wan, S., 2008. Climatic warming changes plant photosynthesis and its temperature dependence in a temperate steppe of northern China. *Environ. Exp. Bot.* 63, 91–101.
- ❖ Olivier, F.C., Annandale, J.G., 1998. Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Res.* 56, 301–307.
- ❖ Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., Calanca, P., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kumar, S., Marta, A.D., Micale, F., Schaap, B., Seguin, B., Skjelvåg, A.O., Orlandini, S., 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 483–489.

- ❖ Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S., Cassman, K.G., 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 101, 9971–9975.
- ❖ Porter, J.R., Semenov, M.A., 2005. Crop responses to climatic variation. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 360, 2021–2035.
- ❖ Reig, G., Alegre, S., Gatiús, F., Iglesias, I., 2013. Agronomical performance under Mediterranean climatic conditions among peach [*Prunus persica* L. (Batsch)] cultivars originated from different breeding programmes. *Scientia Hort.* 150, 267–277.
- ❖ Ristic, Z., Bukovnik, U., Momčilović, I., Fu, J., Vara Prasad, P.V., 2008. Heat-induced accumulation of chloroplast protein synthesis elongation factor, EF-Tu, in winter wheat. *J. Plant Physiol.* 165, 192–202.
- ❖ Rodrigo, J., Herrero, M., 2002. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. *Scientia Hort.* 92, 125–135.
- ❖ Seguin B., 2007. Le réchauffement climatique et ses conséquences pour la viticulture. Colloque « Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? ». 28-30 mars 2007, Dijon.
- ❖ Seguin, B., 2003. Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique. *Comptes Rendus Geosci.* 335, 569–575.
- ❖ Seguin, B., 2010. Le changement climatique : conséquences pour les végétaux. *Quaderni* 71, 27–40.
- ❖ Shaw, D.V., 1990. Response to Selection and Associated Changes in Genetic Variance for Soluble Solids and Titratable Acids Contents in Strawberries. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 115, 839–843.
- ❖ Sugiura, T., Ogawa, H., Fukuda, N., Moriguchi, T., 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. *Scientific Rep.* 3, 2418. doi:10.1038/srep02418
- ❖ Tsimba, R., Edmeades, G.O., Millner, J.P., Kemp, P.D., 2013. The effect of planting date on maize: Phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. *Field Crops Res.* 150, 145–155.
- ❖ Tubiello, F.N., Soussana, J.-F., Howden, S.M., 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 19686–19690.
- ❖ Viti, R., Andreini, L., Ruiz, D., Egea, J., Bartolini, S., Iacona, C., Campoy, J.A., 2010. Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). *Scientia Hort.* 124, 217–224.
- ❖ Wahid A., Gelani S., Ashraf M., Foolad M.R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Exp. Bot.* 199–223.

- ❖ Wang, L.-J., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G.-J., Cheng, J.-S., Luo, H.-B., Li, S.-H., 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biol.* 10, 34.
- ❖ Wang, S.Y., Camp, M.J., 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Sci. Hortic.* 85, 183–199.
- ❖ Weinbaum, S.A., Parfitt, D.E., Polito, V.S., 1984. Differential cold sensitivity of pollen grain germination in two *Prunus* species. *Euphytica* 33, 419–426.
- ❖ White, M.A., Diffenbaugh, N.S., Jones, G.V., Pal, J.S., Giorgi, F., 2006. Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103, 11217–11222.
- ❖ Winkel, T., Rambal, S., 1990. Stomatal conductance of some grapevines growing in the field under a Mediterranean environment. *Agric. For. Meteorol.* 51, 107–121.
- ❖ Zhao, X., Nishimura, Y., Fukumoto, Y., Li, J., 2011. Effect of high temperature on active oxygen species, senescence and photosynthetic properties in cucumber leaves. *Environ. Exp. Bot.* 70, 212–216.

SITOGRAFIE

- ❖ Cornic, G., 2007. Effet de la température sur la photosynthèse. URL: <http://http://www.ese.u-psud.fr/rubrique62.html> (consulté le 04/06/2014).
- ❖ Niezderholzer, F., 2014. Managing heat stress at bloom in prunes. *Grow. Prod.* URL: <http://www.growingproduce.com/fruits-nuts/stone-fruit/managing-heat-stress-at-bloom-in-prunes/> (consulté le 14.3.14).

ANNEXES

Annexe A : Compartiment 1 à +5°C (2 lignes de 5 arbres)



Annexe B : Compartiment 2 à +0°C (3 lignes de 5 arbres)



Annexe C : Compartiment 3 à +2°C (2 lignes de 5 arbres)



Annexe D : 5 arbres conduits à l'extérieur durant tout l'essai

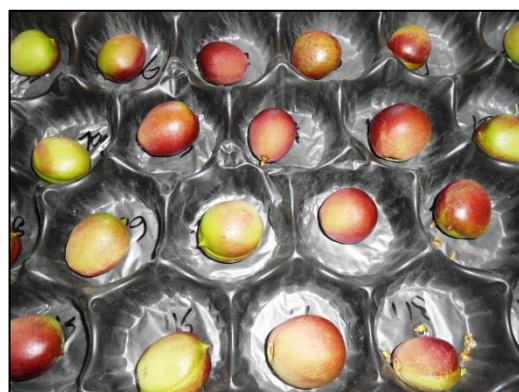


Annexe E : Aspect des fruits au cours de leur développement

Fin Période 1



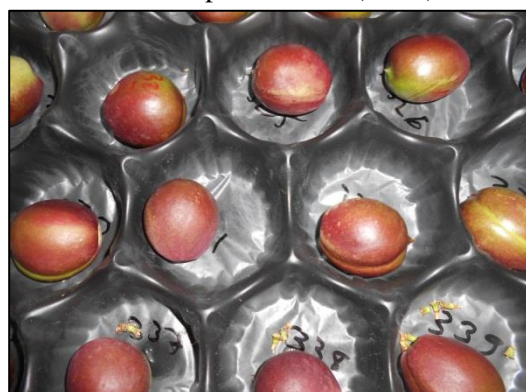
Compartment 1 (+5°C)



Compartment 2 (+0°C)



Compartment 3 (+2°C)



Verger

Fin Période 2



Compartment 1 (+5°C)



Compartment 2 (+0°C)



Compartment 3 (+2°C)



Verger

Période 3

+5°C/+5°C

+5°C/+0°C

+0°C/+5°C

+0°C/+0°C



+0°C/+2°C

+2°C/+0°C

+2°C/+2°C

Verger

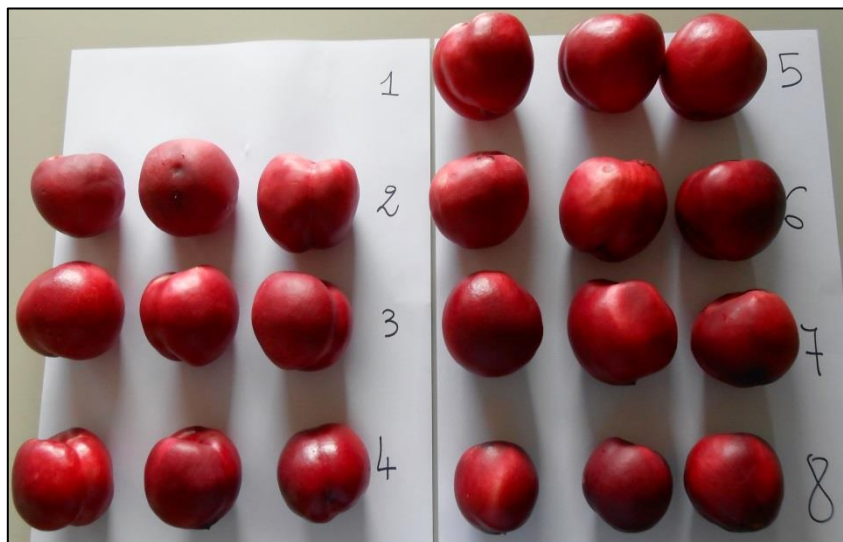
Fin Période 3

+5°C/+5°C
fruits récoltés
précocement

+0°C/+5°C

+5°C/+0°C

+0°C/+0°C



+2°C/+0°C

+0°C/+2°C

+2°C/+2°C

Verger

 <p>MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE Montpellier SupAgro</p>	<p>Master 3A (Agronomie et Agroalimentaire) Spécialité : Systèmes et techniques innovants en horticulture et pour la santé des plantes Parcours : Horticulture méditerranéenne et tropicale (HORTIMET) Enseignant responsable de l'option : Jean Luc REGNARD Tuteur : Jean Luc REGNARD</p>	 <p>AGRO CAMPUS OUEST</p> <p>Centre d'Angers Institut National d'Horticulture et de Paysage</p>
<p>Auteur(s) : Aroua AMMAR</p>	<p>Organisme d'accueil : PSH-INRA AVIGNON Adresse : Domaine Saint-Paul Site Agroparc</p>	
<p>Nb pages : 48 Annexe(s) : 5</p>	<p>84914 AVIGNON CEDEX 9</p>	
<p>Année de soutenance : 2014</p>	<p>Maîtres de stage : Hélène GAUTIER Gilles VERCAMBRE</p>	
<p align="center">Titre : Etude des effets de fortes températures sur la production du pêcher et la qualité des fruits</p>		
<p>Résumé : Une étude sur pêcher a été réalisée afin d'évaluer l'impact de l'augmentation des températures pendant le développement précoce du fruit jusqu'à sa maturité. L'analyse a porté sur le fonctionnement de l'arbre, sa croissance, la production et la qualité des fruits. 35 arbres ont été placés dans 3 compartiments de serre et 5 autres restés à l'extérieur. On a comparé 3 niveaux de température +0°C, +2°C et +5°C. Les arbres ont été répartis sur 8 traitements (Verger, +0°C/+0°C, +0°C/+2°C, +2°C/+0°C, +0°C/+5°C, +5°C/+0°C, +2°C/+2°C, +5°C/+5°C). L'étude a montré que la température a conduit à une chute importante du taux de nouaison et de larges variations de potentiel hydrique. L'augmentation de température a induit un avancement du cycle végétatif qui se manifeste par un débourrement plus précoce et une accélération de la vitesse de croissance. L'augmentation des températures a également induit une avancée de la maturité et de la date de récolte. Cependant, pas d'effet significatif n'a été observé sur la croissance végétative finale, le calibre des fruits à la récolte et leur degré brix.</p>		
<p>Abstract: A study on peach was carried out in order to evaluate the impact of higher temperatures during the early development of the fruit until its maturity. The analysis was done on the vegetative growth, tree production and fruit quality. 35 trees were placed in 3 compartments of greenhouse and 5 others remained outside. We compared 3 levels of temperature +0°C, +2°C and +5°C. The trees were distributed on 8 treatments (Orchard, +0°C/+0°C, +0°C/+2°C, +2°C/+0°C, +0°C/+5°C, +5°C/+0°C, +2°C/+2°C, +5°C/+5°C). The study has shown that temperature lead to a decrease of fruit set and wide variations of water potential. The higher temperature leads to an acceleration of the vegetative cycle which consists on earlier budbreak and an higher growth rate. The increase of temperature has also lead to a large advance in the harvest date. However, no significant effect was observed on the final vegetative growth, on the fruit size at harvest and on brix level.</p>		
<p>Mots-clefs : <i>Prunus persica</i>, réchauffement climatique, température, croissance végétative, phénologie, maturité Keywords : <i>Prunus persica</i>, climate warming, temperature, vegetative growth, phenology, maturity</p>		

