



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE



MASTER AGROSCIENCES
Gestion de la Qualité des Productions Végétales
2^{ème} année

Etude intégrée de l'effet de la température sur le fonctionnement du pêcher et sa production

AMRANI Sihame



Lieu de stage :

INRA
Institut National de
Recherche Agronomique

PSH
Plantes et Systèmes de culture Horticoles

Maîtres de Stage :

Hélène GAUTIER

Gilles VERCAMBRE

Année Universitaire 2014-2015

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu 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), son aide et ses conseils avisés ont constitué une grande motivation pour moi.

J'adresse un grand merci à Monsieur **Gilles VERCAMBRE** pour m'avoir permis de réaliser cette étude au sein de son équipe tout le long de ces six mois et de m'avoir encadré et orienté durant toute la période du stage. Je le remercie pour sa qualité d'écoute, ses conseils professionnels et personnels, sa disponibilité, sa patience et sa bonne humeur, de m'avoir consacré du temps pour traiter les résultats.

Je voudrais également remercier **Fatima ADRA**, avec qui j'ai partagé le même travail, pour son aide et sa patience même dans les moments difficiles, et je lui souhaite bon courage pour la suite de son travail, merci du fond du cœur.

Je remercie également le **GIS Fruit** pour avoir financièrement soutenu ce stage.

Merci à tous les membres de l'unité de recherche « PSH », pour leur aide et leur soutien, et plus particulièrement Guillaume, José, Michel, Valérie, Pierre.

Sans oublier tous les stagiaires et thésards avec lesquels j'ai partagé pleins de bons moments : Ahlem, Arthur, Nicolas, Remi, Laura, Nabil, Imen.

Un grand merci à ma famille et mes amis pour leur soutien et encouragements.

Résumé

Etude intégrée de l'effet de la température sur le fonctionnement du pêcher et sa production

Les changements climatiques attendus pour la région méditerranéenne devraient entraîner une élévation des températures, une augmentation de la durée et de l'intensité des sécheresses estivales. 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, et pendant les différentes phases de croissance du fruit. L'élévation de la température a également été accompagnée d'une humidité relative plus faible. L'étude a montré que la température a conduit à une chute importante et précoce du taux de nouaison. 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, aucun effet significatif n'a été observé sur le nombre de feuilles émergées, la croissance végétative finale et le calibre des fruits à la récolte. Le traitement thermique a cependant augmenté la teneur en matière sèche et en sucre soluble des fruits. Des mesures complémentaires (nombre de cellules, taille des cellules, compositions biochimiques) seront intéressantes à réaliser afin de mieux comprendre les effets de la température sur la qualité des fruits.

Mot clés : *prunus persica*, réchauffement climatique, température, croissance végétative, phénologie, maturité.

Abstract

The effect of inscreased temperature on peach growth and fruit quality.

In the Mediterranean basin, precipitation is expected to decline as a consequence of climate change, and so will induce in elevated temperatures, drought duration in Summer and increase in its intensity. 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, and during the various growth stages of the fruit. The rise in temperature was also accompanied by a low relative humidity. The study has shown that temperature led to an early decrease of fruit set. The higher temperature leads to an acceleration of the vegetative cycle which generates earlier budbreak and a higher growth rate. The increase in temperature has also led to a large advance in the harvest date. However, no significant effect was observed on the number of emerged leaves, the final vegetative growth and the fruit size at harvest. But this heat treatment has increased the dry matter content and soluble sugar of the fruit. Further measurements (cells number, cell size, biochemical composition) will be interesting to take into account to better understand the effects of temperature on fruit quality.

Keywords: *prunus persica*, climate warming, temperature, vegetative growth, phenology, maturity.

Glossaire

Période 1 : Phase plus précoce de division cellulaire

Période 2 : Division cellulaire

Période 3 : Durcissement du noyau des fruits

Période 4 : Croissance et maturation

Sommaire

I. INTRODUCTION	1
II. MATERIELS ET METHODES	8
1. Matériel végétal.....	8
2. Pratiques culturales	8
3. Traitement appliqués et conditions climatiques	8
3.1. Période d’application des traitements	8
3.2. Mesures climatiques.....	9
4. Mesures végétales	10
4.1. Suivi du fonctionnement de l’arbre (potentiel hydrique de tige et de feuille)	10
4.2. Suivi de la croissance végétative.....	10
4.3. Suivi de la croissance des fruits	10
4.4. Suivi de la composition biochimique	11
5. Analyses statistiques	11
III. RESULTATS	12
1. Les données climatiques.....	12
1.1. Températures enregistrées dans les compartiments de la serre	12
1.2. Déficit de pression de vapeur d’eau (VPD)	12
2. Potentiel hydrique foliaire	12
3. Les échanges gazeux	13
4. Croissance végétative.....	14
4.1. Emergence des feuilles	14
4.2. Longueur des pousses terminales.....	14
5. Développement génératif	14
5.1. Taux de chute physiologique des fruits	14
5.2. Croissance des fruits	14
6. Qualité des fruits	15
6.1. Date de récolte	15
6.2. Taux de sucre (° brix)	15
6.3. Teneur en matière sèche.....	15
IV. DISCUSSION	15
1. Effet de la température sur les processus de développement et de croissance.....	15
2. Réponse du potentiel hydrique et des échanges gazeux à l’augmentation des températures	16
3. Effet de la température sur les processus de maturation et sur la qualité des fruits.....	17
V. CONCLUSION	18
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

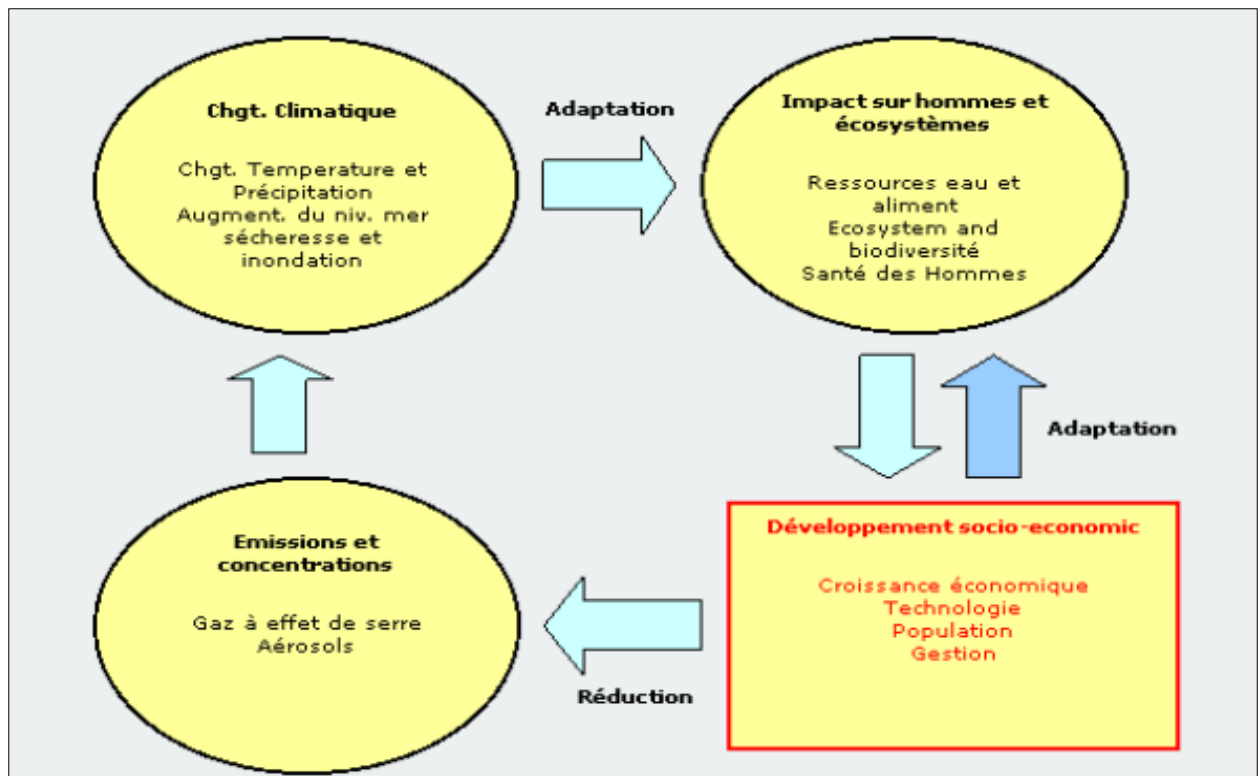


Figure 1: Descriptif du changement climatique par l'IPC

I. INTRODUCTION

Le dernier rapport du GIEC (IPCC, 2013) confirme clairement des projections climatiques prévoyant à la fois une augmentation des températures et de leur variabilité à la fin du XXIème siècle, avec en corollaire une augmentation de la fréquence des événements extrêmes (sécheresse, température extrême ...).

Ce sujet fait partie d'un projet plus large (Métaprogramme ACCAF développé par l'INRA : Adaptation aux changements Climatiques en Agriculture et Forêt) visant à prévoir l'impact du changement climatique (stress thermique et stress hydrique) sur la qualité des fruits, des graines et des semences.

Ce travail s'intéresse à l'effet du climat sur la floraison et la croissance des fruits pour mieux appréhender le fonctionnement des arbres.

Le stage s'est déroulé à l'INRA d'Avignon domaine Saint Paul, au sein de l'Unité PSH (**Plantes et Systèmes de culture Horticoles**) qui travaille sur les productions horticoles alimentaires, et principalement les **fruits et légumes** consommés en frais. Ses objectifs finalisés sont de contribuer à la mise au point de scénarios techniques et paysagers permettant de promouvoir la qualité des produits récoltés et le respect de l'environnement.

1. Le changement climatique

L'effet de serre additionnel dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère se traduit par une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère terrestre. Ce réchauffement de la planète même modeste, modifie le comportement des masses d'air de l'atmosphère dans leur ensemble, ce qui provoque des changements climatiques (températures moyennes, régime des précipitations et des vents, fréquences des phénomènes extrêmes ...).

L'augmentation de la concentration de l'atmosphère en GES du fait des émissions liées à l'activité humaine est le seul phénomène qui peut expliquer le réchauffement planétaire actuel et sa rapidité, en particulier de la production industrielle, et de l'évolution de l'usage et de la couverture des sols. Ces d'activités ont contribué à l'augmentation des concentrations en dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux, aérosols et autre gaz à effet de serre dans l'atmosphère, perturbant ainsi le bilan énergétique de l'enveloppe superficielle terrestre, ainsi que ses bilans hydrologique et chimique (IPCC, 2007). Pour autant, les activités humaines sont sensibles à l'état du système climatique, et l'impact de l'évolution de ce dernier entraîne une boucle de rétroaction, décrite dans la figure 1.

D'après le rapport du GIEC (2014), les scénarios les plus optimistes quant à la réduction des émissions de GES prévoient des augmentations de températures moyennes de la planète vers

2100 de 1 °C à 2 °C par rapport à la moyenne du 20^{ème} siècle. Par contre des scénarios plus pessimistes prévoient des augmentations de température de 3,5 à 5°C ce qui correspond à l'écart de température entre le dernier maximum glaciaire et aujourd'hui.

2. Impact du changement climatique sur les productions agricoles

Les systèmes agricoles sont intimement liés au changement climatique, l'évolution du climat projeté pour les prochaines décennies aura un impact, très variable, selon les régions, sur la production agricole, des processus physiologiques à la phénologie ainsi que les répartitions géographiques des cultures.

Avec l'hypothèse d'un doublement de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère pour la fin du 21^{ème} siècle (IPCC, 2007), cette hausse aura un effet bénéfique sur le couvert végétal en favorisant l'activité photosynthétique des plantes (DaMatta et al. 2009). D'après Seguin (2007), les résultats montrent une simulation de la photosynthèse de l'ordre de 20% à 30% conduisant à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 10% à 20% en fonction du type du métabolisme photosynthétique et par conséquent une légère amélioration dans le rendement de cultures.

Cependant l'augmentation de la température peut favoriser la plupart des processus physiologiques, mais cet effet sera accompagné par des impacts négatifs sur les cultures en accélérant d'abord leur rythme de développement et donc raccourcissement de leur durée de fonctionnement, mais aussi une prolifération des mauvaises herbes et des parasites due à l'accélération de leur cycle de développement et bénéficieront autant de la fertilisation carbonée que la végétation cultivée, enfin la modification des régimes de précipitations augmente la probabilité de mauvaises récoltes à court terme et d'une baisse de la production à long terme. Bien que certaines régions du monde puissent enregistrer une amélioration de quelques-unes de leurs cultures, le changement climatique aura globalement des impacts négatifs sur l'agriculture et menacera la sécurité alimentaire au niveau mondial.

Pour les arbres fruitiers et la vigne (Seguin et al, 2004), l'effet fondamental de la température devrait être l'avancée des stades phénologiques.

Un travail précédent mené sur pêcher (Ammar, 2014) a permis de bien décrire l'effet d'une augmentation de la température sur un certain nombre de processus.

3. Impact de la température sur la phénologie des plantes

3.1. Etapes clés de la phénologie

La température régule fortement la phénologie (les différentes phases de développement de plantes au cours de leurs cycles de vie des plantes (Lebourgeois & Godfroy, 2005). Les changements dans le calendrier des phases phénologiques des arbres fruitiers ou des cultures de plein champ pourraient avoir d'importantes conséquences économiques sur le rendement final (Chmielewski et al., 2004), car ils peuvent affecter directement les processus de formation du rendement. Dans ce domaine, en ce qui concerne les arbres fruitiers, différentes phases critiques

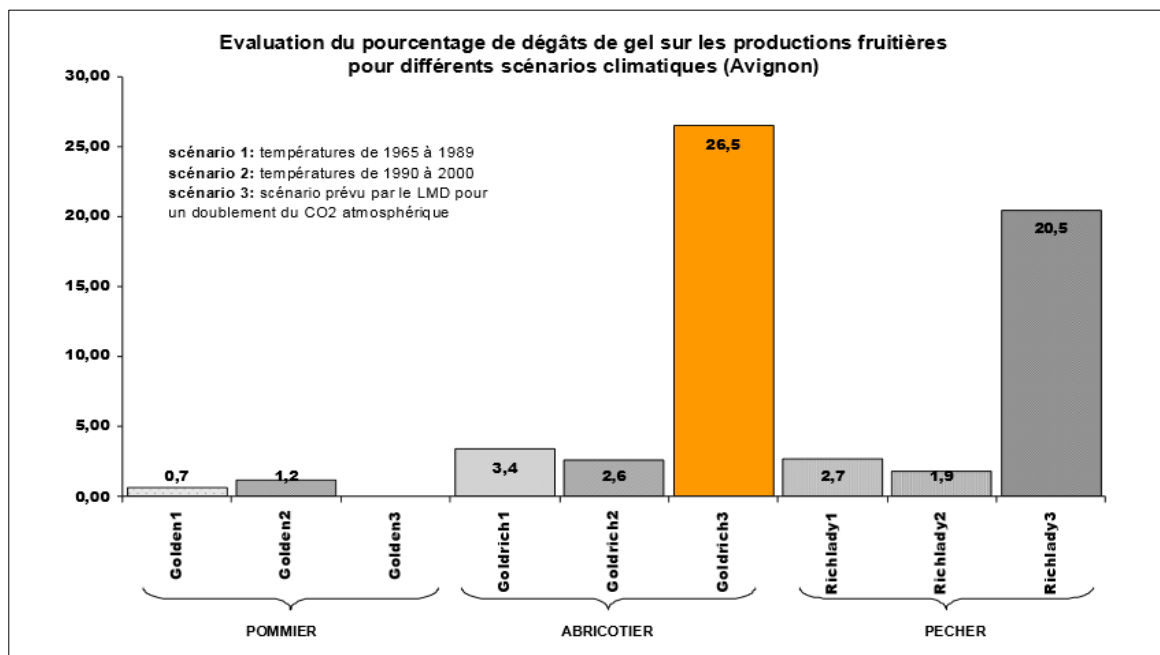


Figure 2: Évolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962.

ont été identifiées telles que: la levée de dormance des bourgeons, la floraison, le développement précoce et la maturation des fruits.

3.1.Levée de dormance et floraison

La phénologie est le premier indicateur biologique du changement climatique sous la dépendance directe d'une sortie adéquate de dormance (période de repos déclenchée par la baisse de la température chez les Rosacées).

Le changement temporel des phases phénologiques des arbres fruitiers ou des cultures de plein champ pourraient avoir d'importantes conséquences économiques sur le rendement final. Les arbres fruitiers ont un besoin en froid qui varie d'une espèce à l'autre et d'une variété à l'autre. Ainsi pour le pêcher, le besoin en froid pour la levée de dormance pourrait varier de 600 à 1200 heures de froid (température inférieure à 7°C). De même, Balandier et Courduroux, (1992) ont montré sur le pêcher que l'optimum thermique pour la levée la dormance était proche de 6°C, des températures supérieures à la normale saisonnière, survenant au cours de la dormance, provoquent des chutes de bourgeons floraux et des anomalies végétatives bien connues dans les régions à hivers doux. Elles sont attribuées, a priori, à des hivers insuffisamment froids (Monet & Bastard ; 1970). Les températures estivales jouent aussi un rôle sur l'intensité de la dormance des bourgeons : plus il fait frais en été, plus la dormance qui suit est faible (Ameglio et Cruiziat, 1991).

Le débourrement d'un arbre fruitier ou sa floraison sont des marqueurs très nets du climat, dont le bon déroulement influencera la productivité ainsi que la qualité des fruits. La température de l'air est considérée comme le principal facteur climatique conditionnant l'apparition du débourrement. Lorsque le froid a levé la dormance, les bourgeons ont besoin de chaleur pour évoluer et débourrer. Le débourrement est particulièrement sensible à la hausse thermique printanière (Sparks et al. 1997 ; Chuine et Cour 1999).

Des perturbations dans le calendrier du développement des arbres fruitiers ont été observées à la suite du réchauffement récent. La levée de dormance tend à être plus tardive par manque de froid. Pour certaines espèces, telles que l'abricotier, les hivers doux peuvent même créer des troubles physiologiques (chute de bourgeons, fruits avortés). Puis, sous l'action de la chaleur, les arbres fleurissent plus tôt. La floraison des pommiers s'est avancée d'une dizaine de jours en 30 ans (figure 2). Paradoxalement, les arbres sont plus vulnérables au gel et en dépit du réchauffement des températures, la fraîcheur du climat à une période plus précoce est moins favorable à la fécondation et à la pollinisation.

En raison de la floraison des arbres plus précoce, dans certaines régions d'Europe, le risque de dommages par des gelées tardives a augmenté. En considérant les scénarios climatiques les plus extrêmes, il apparaît possible, suivant les espèces et la localisation géographique, que les risques soient accrus par le réchauffement climatique. Ceci peut paraître paradoxal, mais, si le risque purement climatique est bien réduit, le risque biologique augmente plus fortement, du fait de l'avance de végétation qui expose au gel des organes floraux à des stades plus précoces, et donc plus fragiles (Seguin, 2003). Après la levée de la dormance, les ébauches deviennent de plus en plus sensibles aux températures négatives.

3.3. Développement des fruits

La date de floraison joue un rôle important dans la production, car les conditions climatiques au moment de la floraison influencent directement la réussite de la fructification, il est possible d'observer, sur certaines variétés de pêcher, des chutes de jeunes fruits, liées à des températures basses à cette période. Pour Marcelis (1993) sur tomate, l'allocation des assimilats et le nombre de fruits d'une plante peuvent diminuer quand la température est augmentée. L'avortement de fleurs et le retard de formation de nouvelles inflorescences agissent donc comme un mécanisme de contrôle rétroactif pour prévenir une diminution de la croissance liée à un rapport sources/puits défavorable pour de fortes températures. Pour un génotype donné, la durée de développement du fruit jusqu'à sa maturation est fonction essentiellement de la température depuis la floraison et de la réponse des cultivars à la température. Ce sont essentiellement les températures durant les 30 jours suivant la floraison qui ont un effet important sur la durée de développement et la taille potentielle des fruits à la récolte (Ben Mimoun & De Jong 1999). Le nombre de jours entre la pleine floraison et la récolte de plusieurs cultivars de pêcher a été corrélé négativement avec la somme de degrés heures accumulés au cours des 30 premiers jours après la pleine floraison (GDH 30, calculée en utilisant les données de température horaires, pour des températures entre 7 et 35 °C, (Lopez et al. 2007). La température de l'air dans le mois après la floraison est donc importante et détermine les conditions de développement précoce mais aussi la date de récolte (Lopez et al, 2007). Une expérimentation sur la tomate montre par exemple que des températures plus élevées pendant la première semaine après la floraison avance la date de maturité (De Koning, 1994)

4. Impact de la température sur la croissance

La température est un facteur clé de la croissance et du développement des plantes. Conjugée avec la luminosité, le dioxyde de carbone, l'humidité dans l'air, l'eau et les nutriments, elle influe sur la croissance des plantes et au final sur le rendement des cultures. La température représente un facteur limitant de toute première importance, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques. A basse température, les fonctions physiologiques principales sont bloquées ou fortement ralenties.

La température a une influence sur les plantes à court et à long termes. Toutefois, la température optimale d'une plante dépend d'une variété de facteurs. La réaction d'une plante à la température ambiante dépend de son stade de développement.

On peut prendre en compte les effets de la température sur la croissance et le développement de différents organes en utilisant une échelle de temps exprimée en somme de degrés jours. Cette approche a permis de mettre en évidence l'existence de seuils de température en deçà ou au-delà desquels certains processus (croissance, développement,...) sont inhibés ralenties et d'analyser les effets de la température sur la croissance des feuilles de différentes espèces et de mettre en évidence la généralité de ces réponses à la température.

En ce qui concerne la sensibilité de la croissance des fruits à la température, il semble nécessaire de distinguer des effets à court et moyen termes. Cette différence s'expliquerait par l'acclimatation du pool enzymatique responsable de l'absorption et de la transformation des assimilats. À court terme, l'activité catalytique liée aux enzymes augmente immédiatement avec une augmentation de la température, alors que l'activité enzymatique s'adaptera progressivement sur une période plus longue (De Koning, 1994).

5. Impact de la température 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).

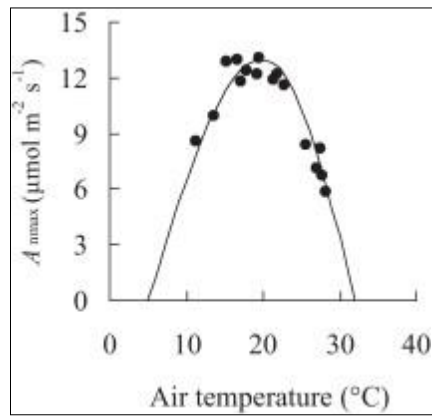


Figure 3 : Evolution de la photosynthèse nette en fonction de la température chez les Lilium sous serre (Li et al., 2012)

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). 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 3).

6. Impact de la température sur la maturation

La maturation des fruits correspond à un ensemble de changements biochimiques et physiologiques conduisant à l'état de maturité et conférant au fruit ses caractéristiques nutritionnelles (arômes, couleur, jutosité...) qui rendent le fruit comestible et commercialisable.

La maturation de la plupart des fruits climactériques (associée à une production d'éthylène), se caractérise par l'augmentation de l'activité respiratoire, le ramollissement de la chair, une augmentation des sucres, du rapport sucre/acide, et un changement de couleur. L'exposition des fruits à des températures élevées atténue ou accentue certains processus. En effet, la synthèse de l'éthylène est inhibée de façon réversible pour des fruits exposés à des températures élevées (Paull et Chen, 2000). Des études ont montrés chez la tomate et la pomme que l'élévation de la température peut également modifier la composition des fruits récoltés et en particulier leur teneur en acides et en pigments. De fortes températures peuvent diminuer l'acidité de la pêche (Claudio., Budde et al., 2006). Cette diminution de l'acidité totale a également été constatée dans d'autres fruits comme les pommes et les tomates (Klein et Lurie, 1992). La perte d'acidité serait probablement due à la stimulation du catabolisme des acides organiques utilisés comme substrats respiratoires (Klein et Lurie, 1992). Les températures élevées vont augmenter le rapport sucre /acide, indicateur de la qualité gustative des fruits. D'autre part, les fortes températures pourraient également affecter la synthèse des caroténoïdes et des anthocyanes en augmentant la coloration avec les pigments rouges dans la chair et la peau de pêche (variété Dixiland) (Brady, 1993). La teneur en matière sèche soluble pourrait également être affectée par les traitements thermiques. La teneur en matière sèche des fruits augmente légèrement avec la hausse des températures entre 17 °C et 23 °C, ce qui pourrait donc avoir une influence positive sur la saveur (De Koning, 1994).

7. Conclusion

Tous les processus biologiques (photosynthèse, respiration...) qui sont à la base de la production végétale sont fortement sensibles à la température. En Horticulture le facteur température est d'autant plus important que le cycle des cultures peut être perturbé par la douceur de température (période hivernal) ou par des températures excessives. En effet, une période de chaleur extrême qui coïncide avec le stade critique de développement d'une culture produit des effets négatifs, comme la diminution de la production annuelle dans le cas des cultures semencières, ou cause des dommages aux arbres fruitiers tels que le pommier.

L'objectif de mon stage était de caractériser l'effet de l'augmentation de la température pendant la période de développement précoce du fruit ou pendant sa période de maturation sur le fonctionnement de la plante, la croissance, le développement du fruit et sa composition.

L'ensemble de ces expérimentations a été mené dans le cadre du projet CAQ40 (financé par le métaprogramme ACCAF de l'INRA) qui vise à comprendre et anticiper les effets du changement climatique sur la qualité des fruits, des graines et des semences.

Cette étude permettra de caractériser les principales réponses des plantes à ces contraintes et d'identifier les processus les plus affectés afin d'analyser les capacités d'adaptation des plantes à des stress thermiques et hydriques.

Dans ce travail, la température est la variable climatique étudiée en particulier l'effet de son évolution au cours du cycle du pêcher. Les deux questions posées sont 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 ?

II. MATERIELS ET METHODES

1. Matériel végétal

Quarante (40) arbres en pot, (*Prunus Persicae* L. Batch, brugnons de la variété **MAGIQUE® Maillarmagie, nectarine blanche COV** ont été greffés sur **INFEL®7652 CADAMAN® AVIMAG** en aout 2011 sur le site expérimental Saint Paul de l'INRA d'Avignon et plantés en février 2012 dans des pots de 70 L avec un mélange de substrat.

2. Pratiques culturales

Les arbres ont été taillés le 14 janvier 2015 de façon à garder 40 à 50 rameaux mixtes par arbre soit entre 10 et 20 rameaux par charpentière. Les arbres ont été déplacés avant floraison et pollinisation des fleurs dans 3 compartiments de serre pour contrôler les conditions climatiques. Un système d'irrigation avec électrovanne et programmation a été mis en place durant toute la période de croissance. Les toitures des compartiments sont blanchies pour homogénéiser le rayonnement et la température entre zones Nord et Sud de chaque compartiment. Les arbres sont été éclaircis aussitôt que le taux de nouaison a été bien stabilisé pour éviter des charges très différentes suivant les arbres.

3. Traitement appliqués et conditions climatiques

3.1. Période d'application des traitements

Les arbres ont été soumis à différents scénarii climatiques une semaine après pollinisation des fleurs (mi-mars) jusqu'à maturité des fruits. Une élévation de température ponctuelle ou permanente a été appliquée. Cette élévation de température a été de 5°C, et 4 périodes ont été distinguées :

Traitements	Période 1 14/03 au 02/04	Période 2 02/04 au 24/04	Période 3 24/04 au 18/05	Période 4 18/05 à mi-juillet
0°C/0°C/0°C/0°C				
5°C/0°C/0°C/0°C	+5 °C			
0°C/5°C/0°C/0°C		+5 °C		
0°C/0°C/5°C/0°C			+5 °C	
0°C/5°C/0°C/5°C				+5 °C
5°C/5°C/5°C/5°C	+5 °C	+5 °C	+5 °C	+5 °C

3.2. Mesures climatiques

3.2.1. Température, humidité relative et déficit de pression de vapeur

La température et l'humidité relative de l'air ont été mesurées à l'extérieur et sous serre au cours de l'expérimentation. Afin de décrire les relations entre la température, le développement et la croissance du pêcher, ces données climatiques ont été utilisées pour calculer les valeurs moyennes, maximales et minimales par jour. 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 (esat). Il est calculé selon la fonction suivante :

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

esat : $e_0 \cdot \exp(17.502 \cdot T / (240.97 + T))$ [hPa]

VPD = $esat \cdot (1 - RH/100)$ [mbar=hPa]

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

3.2.2. Calcul du temps thermique (somme des degrés-jour)

La somme de degré-jour est un bon indicateur du développement de la plante. Le temps thermique est calculé à partir des températures minimales et maximales journalières, et en utilisant des seuils de températures en dessous et au-delà desquelles le développement de la plante est supposé nul. Les seuils sont de 7°C et 35°C pour le pêcher (Marra et al., 2002) et on suppose une variation sinusoïdale de la température au cours de la journée entre les extrêmes.

4. Matériel végétal

4.1. Suivi du fonctionnement de l'arbre (potentiel hydrique de tige et de feuille)

- Le potentiel hydrique a été mesuré en tant qu'indicateur du niveau de disponibilité en eau pour la plante et de demande climatique (Garnier and Berger 1985, McCutchan and Shackel 1992). Les mesures de potentiels hydriques de feuille sont réalisées au midi solaire à l'aide d'une chambre à pression (bombe de Scholander) une fois toutes les 2 semaines à raison d'une feuille par arbre.
- Des mesures de photosynthèse, de transpiration et de chlorophylle ont été réalisées de façon simultanée aux mesures de potentiel hydriques, à l'aide d'une pince à photosynthèse (ADC) à raison d'une feuille par arbre avec 6 répétitions pour chaque feuille, et sur tous les arbres.
- Les mesures ont été réparties au cours de la période de traitement pour voir l'impact des périodes de stress thermique et de récupération sur les échanges gazeux.

4.2. Suivi de la croissance végétative

Mi-février, 9 rameaux de différentes tailles ont été sélectionnés (3 courts, 3 moyens, 3 longs) pour chaque arbre, les mesures hebdomadaires suivantes ont été réalisées pour caractériser la croissance végétative sur ces rameaux :

- la proportion des bourgeons (fleurs/bois).
- le nombre de rosettes et de pousses.
- la longueur de la pousse terminale.
- le nombre de (feuilles, feuilles anticipées, pousses anticipées) sur cette pousse.

4.3. Suivi de la croissance des fruits

- **Croissance des fruits**

Le développement des fruits a été suivi à partir du 30 avril, sur 10 rameaux mixtes sélectionnés pour chaque arbre afin de calculer :

- La densité des fruits noués sur le rameau : $N = \text{Nombre de fruits noués} / \text{longueur de rameau}$
- Le taux de chute physiologique, calculé entre deux dates d'observation (le 2 avril et le 11 mai).
- A partir du 30 avril, la croissance en diamètre des fruits a été mesurée hebdomadairement à l'aide d'un pied à coulisse, sur 12 fruits sélectionnés par arbre.

- **Comptage du nombre de cellule par fruit :**

A 2 dates de prélèvement de fruits (jours 156 et 182), deux quartiers opposés de chair ont été prélevés par fruit. Ils ont été pesés (pour pouvoir estimer ensuite un nombre de cellule par fruit) et mis à digérer dans une solution enzymatique (pectinases) afin de déterminer l'effet du stress thermique sur la division cellulaire.

Ces données n'ont pas encore été analysées et ne seront pas présentées dans ce rapport.

4.4. Suivi de la composition biochimique

Nous avons réalisés des prélèvements de feuilles et de fruits pour analyser l'effet du stress thermique sur la composition biochimique des feuilles et des fruits (acides organiques, amidon, polyphénols, vitamines C,...).

- **Prélèvements de feuilles**

2 lots de 5 feuilles par arbre ont été prélevés autour de 15 H, soit 50 échantillons de feuilles par lot à la fin des stades 2 et 3.

- Un lot a été congelé dans l'azote liquide puis conservé à -80°C pour des analyses biochimique (l'amidon, les sucres, la chlorophylle et la teneur en N
- L'autre lot pour calculer la MF, MS, et la surface foliaire.

- **Prélèvement de fruit**

Les fruits récoltés étaient tous exposés au rayonnement. Chaque fruit a été analysé séparément en fonction de son calibre (sélectionner de 3 à 4 fruits par calibre et par arbre). Les calibres sont ceux utilisés lors de la commercialisation des pêches (calibre 2A : 73-80 mm, A : 67-73 mm, B : 61-67 mm, C : 56-61 mm, D : <56 mm). Après la récolte, la coloration externe des fruits a été caractérisée à l'aide d'un chromamètre (minolta, LAB coordonnées Hunter), et nous avons mesuré leur poids frais et leur volume (diamètres équatorial, jugulaire et polaire), Puis les fruits sont découpés pour déterminer le poids frais et sec de la chair, de la peau et du noyau et les teneurs en matière sèche après passage à l'étuve à 70°C pendant 48h. Des aliquotes de matière fraîche de chair et de peau ont été immédiatement congelés dans l'azote liquide et conservés à -80°C pour les analyses biochimiques.

Des mesures du degré de Brix des fruits récoltés et de la fermeté des fruits ont été également réalisées sur les fruits mur (à l'aide d'un Durofel électrique).

5. Analyses statistiques

Les tests statistiques utilisés pour l'analyse des résultats ont été réalisés sur le logiciel XLstat (France) et le logiciel R.

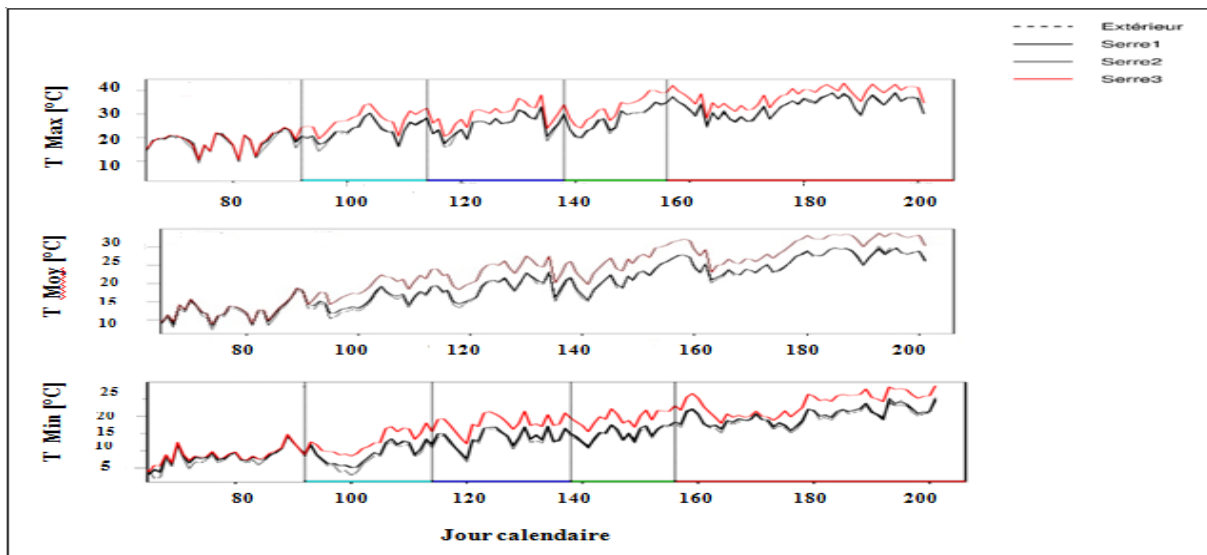


Figure 4 : Evolution de la température moyenne, maximale et minimale pour les 3 serres et l'extérieur au cours du temps

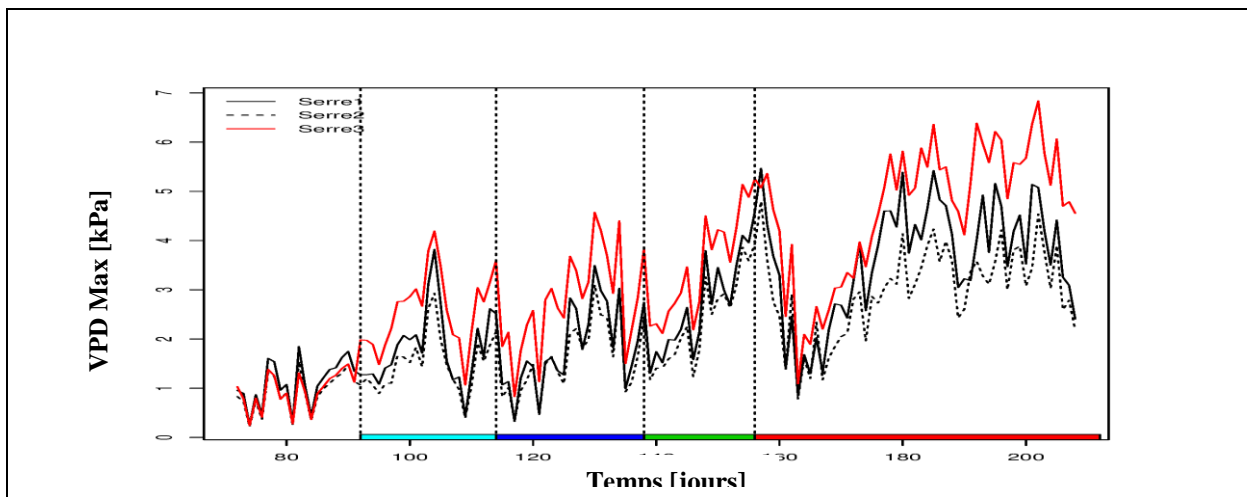


Figure 5 : Evolution du VPD Max (déficit de pression de vapeur d'eau) dans les 3 compartiments au cours du temps

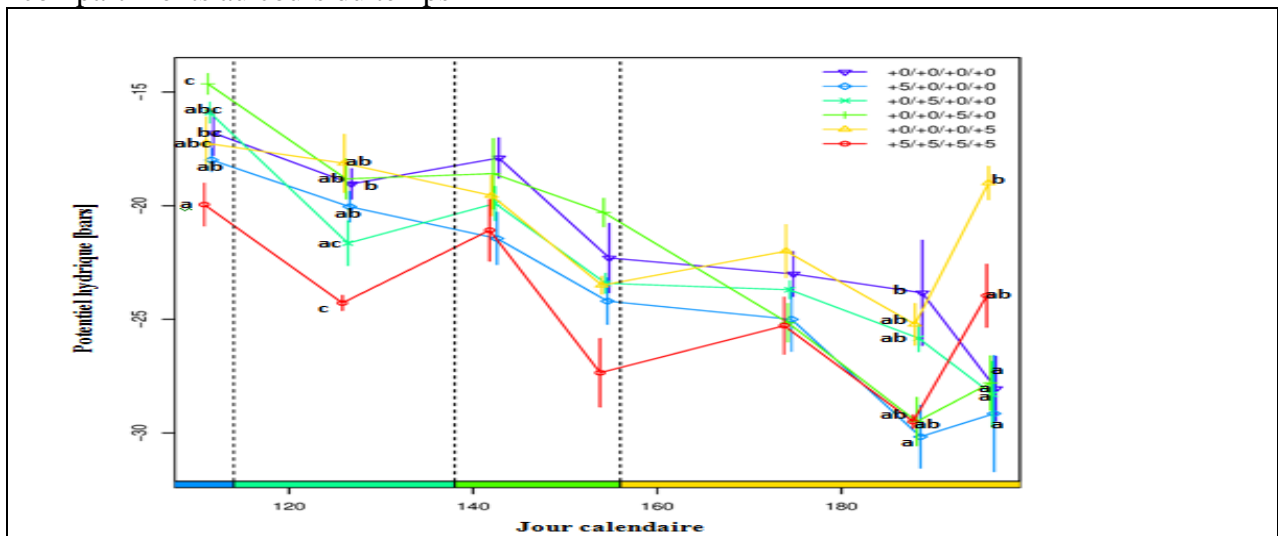


Figure 6 : Evolution du potentiel hydrique foliaire mesuré à midi des différents traitements en fonction du temps.

III. RESULTATS

1. Les données climatiques

1.1. Températures enregistrées dans les compartiments de la serre

L'objectif de l'expérimentation était de comparer la croissance et le fonctionnement de pêcher soumis à la température extérieure ou à des températures supérieures de 5°C pendant certaines périodes de croissance des fruits. Le contrôle de la température dans les compartiments a très bien fonctionné durant l'expérimentation, excepté sur une période de 7 jours où un problème de chaudière n'a pas permis de maintenir l'échauffement à +5°C durant toute la journée. Les températures évoluent et augmentent au cours de la saison, jusqu'à atteindre 40 °C pour les compartiments témoin, et près de 45°C dans le compartiment +5°C (Figure 4). Ces températures ont pu occasionner un stress et affecter les échanges gazeux, la croissance et le rendement des pêchers.

1.2. Déficit de pression de vapeur d'eau (VPD)

La figure 5 montre l'évolution du VPD Max journalier (déficit de pression de vapeur d'eau) au cours du temps pour les 3 compartiments de la serre. On constate que le VPD Max dans le compartiment à +5°C est plus élevé que celui des compartiments témoins. Ceci résulte à la fois d'une plus faible humidité relative et de température élevée. Pour contrôler et limiter l'élévation de température dans les serres, 3 niveaux de contrôle peuvent être utilisés. Dans un 1^{er} temps, les ouvrants du toit peuvent être actionnés pour augmenter l'aération. Dans un 2^{ème} temps, la ventilation forcée peut être déclenchée permettant un renouvellement accéléré de l'air dans la serre. Enfin, dans un 3^{ème} temps, l'humidification de l'air par les coolbox peut permettre d'abaisser encore la température. Les compartiments témoin, à la température extérieure, ont nécessité plus fréquemment la mise en route de ces différentes méthodes de contrôle de la température. En conséquence, en particulier de l'utilisation de la ventilation forcée et de l'humidification de l'air entrant, les compartiments témoin ont donc une humidité relative plus forte que le compartiment à +5°C. La régulation du climat a donc aussi entraîné une modification de l'humidité et de la demande climatique dans la serre.

2. Potentiel hydrique foliaire

Les mesures de potentiel hydrique des feuilles ont été réalisées seulement à partir de la 3^{ème} période. On constate qu'il existe des variations de potentiel hydrique selon les journées (figure 6). Ces variations sont liées aux conditions climatiques pendant les journées de mesure. Le traitement continu +5°C montre des valeurs significativement les plus faibles par rapport aux

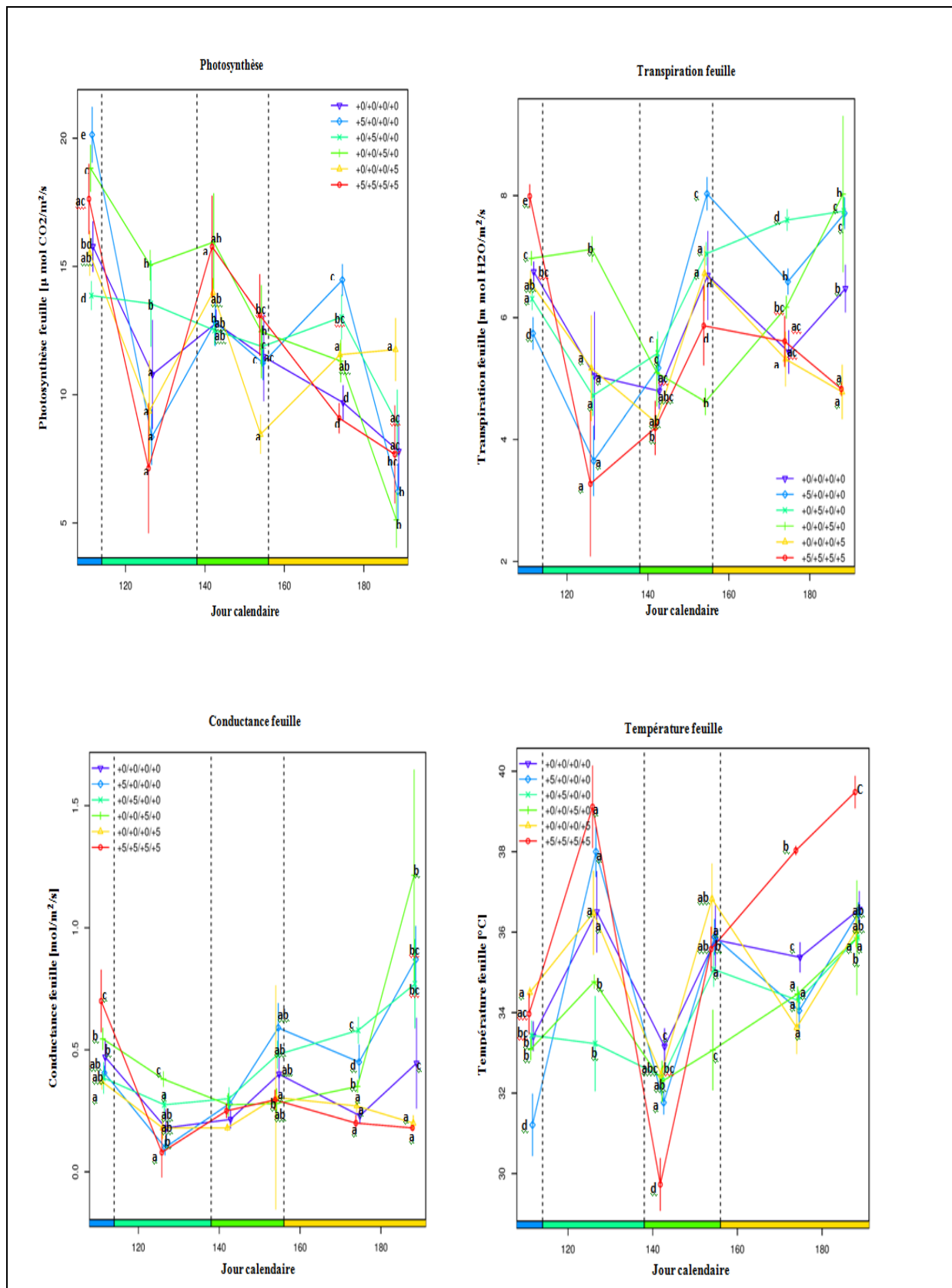


Figure 7: Echange gazeux (conductance stomatique, photosynthèse et transpiration) et température de feuilles mesurées pendant les jours ensoleillés pour les différents traitements.

autres traitements, suivi ensuite par le traitement +5°C pendant la première période. Les valeurs de potentiel sont plus élevées pour les autres traitements. Les valeurs de potentiel hydrique mesurées sont globalement assez basses, en lien avec le VPD très fort mesurés sous serre, et le potentiel hydrique atteint alors la valeur minimale de - 30 bars, ce qui indique une contrainte hydrique plus sévère.

3. Les échanges gazeux

La figure 7 illustre les variations de la conductance stomatique, de la température des feuilles, de la photosynthèse 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 la variabilité du climat entre les différentes journées de mesure. Pour la photosynthèse, on remarque toutefois une forte variation dans le temps entre les arbres d'un même traitement, ainsi qu'une forte hétérogénéité entre les différents traitements.

Des valeurs significativement plus faibles de photosynthèse ont été mesurées au jour 126 pour les différents traitements. Ces valeurs sont à relier à de fortes températures journalières qui dépassent les 30°C (atteignant 35°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 (Annexe D). Ainsi qu'une chute considérable de la transpiration. Le traitement à +5°C a eu un effet sur la photosynthèse, en particulier les jours où la température de l'air était déjà élevée. Au-delà du jour 126, le retour à des températures moyennes (aux environs de 25°C) a engendré une amélioration de l'activité photosynthétique, quel que soit le traitement.

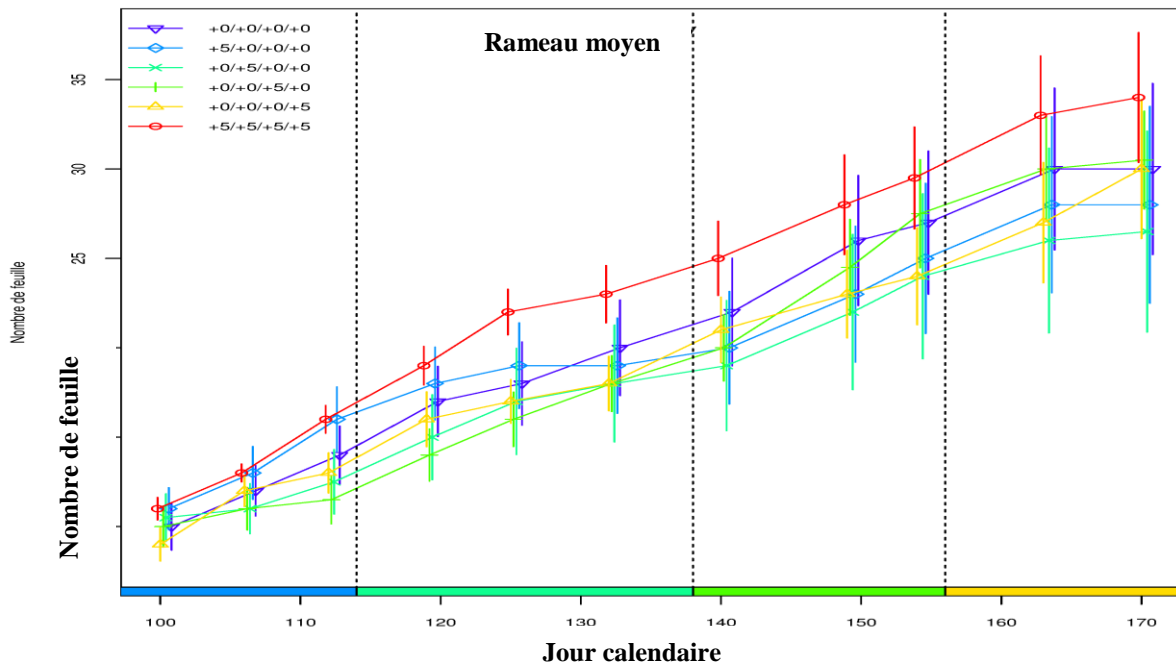


Figure 9 : Emergence des feuilles sur les pousses insérées en position terminale pour les rameaux moyens en fonction du temps.

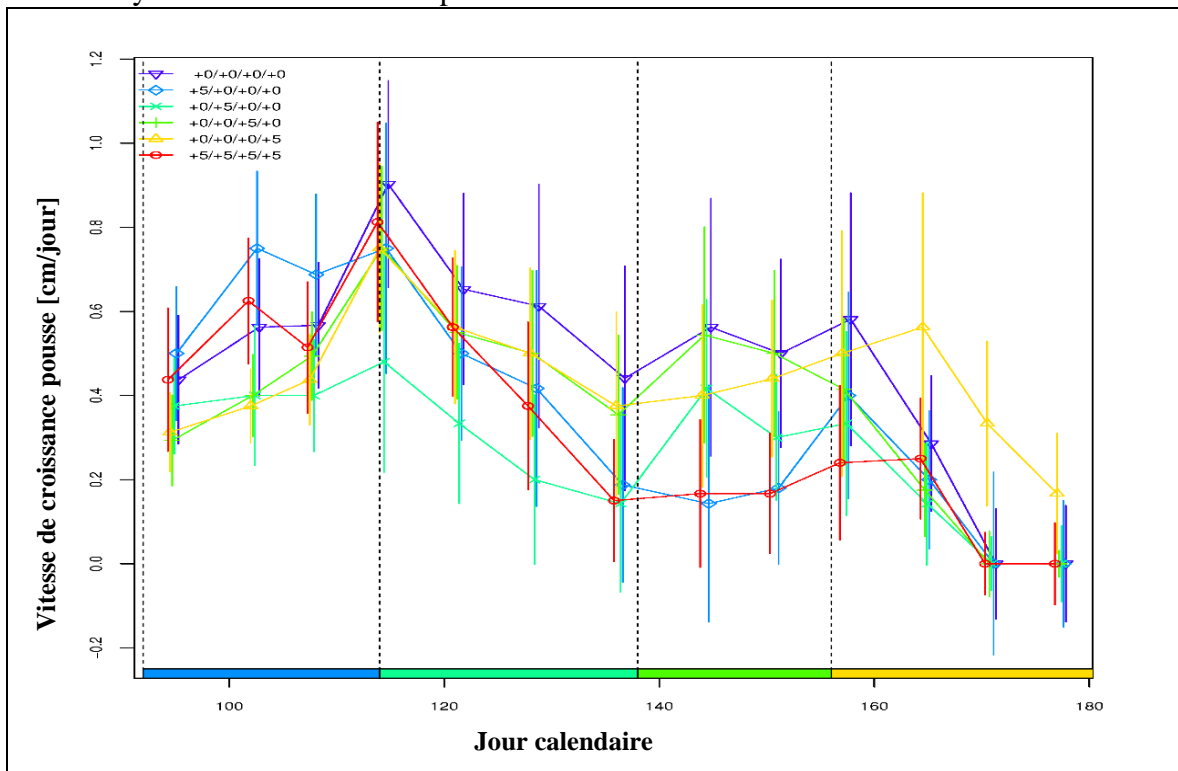


Figure 10 : Vitesse de croissance des pousses terminales [cm/jour] au cours du temps.

4. Croissance végétative

4.1. Emergence des feuilles

Le suivi du nombre des feuilles émergées sur les pousses en position terminale montre que les températures élevées ont entraîné une émergence plus rapide des feuilles (figure 9). A la fin de la 1ère période, le nombre des feuilles émergées était plus élevé au niveau des rameaux moyens pour le traitement continu à +5°C par rapport aux autres traitements. Le traitement +5°C à la première période montre également une légère avance au niveau des rameaux longs, Ces différences ne sont cependant que temporaires, et à la fin de la croissance, le nombre de feuille émis ne présente pas de différence significative quel que soit le traitement considéré. C'est donc bien une avance phénologique qui est observée.

4.2. Longueur des pousses terminales

La figure 10 représente la vitesse de croissance des pousses, définie comme l'augmentation de la longueur des pousses végétatives terminales en fonction du temps. On observe deux vagues de croissance (qui correspondent aux périodes 1 et 3). Les arbres ayant subi l'élévation de la température à la première période ont une croissance anticipée par rapport aux arbres témoins, qui commencent à croître plus tardivement. Pendant la 2ème vague de croissance, on constate que les arbres soumis à l'élévation de la température à la période 3 ont une vitesse de croissance supérieure aux témoins. La figure 11 présente l'évolution de la proportion des longueurs finales des pousses terminales selon. On constate que l'élévation de la température a effet considérable sur la chronologie de la croissance avec une croissance plus précoce et plus rapide, mais un raccourcissement également du cycle, en particulier sur les rameaux longs. Le raccourcissement de la croissance n'a pas eu d'effet sur le nombre de feuille mais sur la longueur des pousses, avec une longueur plus faible pour le traitement à +5°C continu. Cet effet n'est pas observé sur les rameaux moyens et petits.

5. Développement génératif

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 12). En effet, on constate que l'élévation de la température a induit près de 50% de chute en 10 jours pour le traitement continu +5°C contrairement aux autres traitements qui eux présentent des chutes plus faibles, qui varient de 10% à 30% durant ces 10 jours.

5.2. Croissance des fruits

La figure 13 montre la croissance en diamètre des fruits suivis (n=12 fruits/arbre) pour tous les arbres et les traitements au cours du temps. On remarque que les arbres ayant subis l'élévation de température continue présentent une légère différence en termes de diamètre. Cette différence apparaît de façon très précoce persiste jusqu'à la fin de la période de croissance.

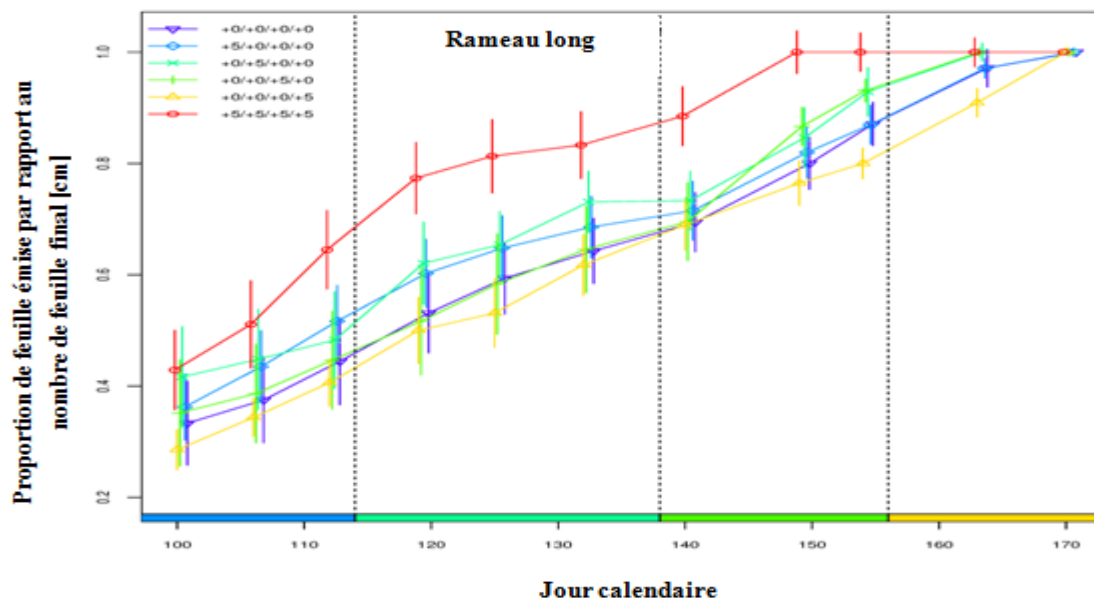


Figure 11: Evolution de la proportion de la longueur finale des pousses terminales par traitement pour les rameaux longs.

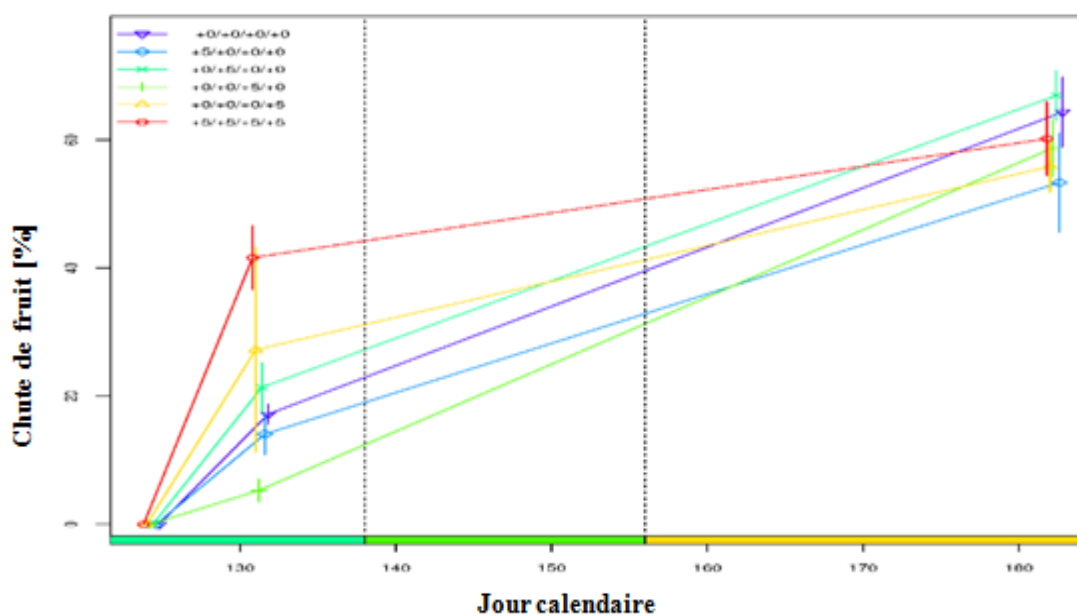


Figure 12 : Taux de chute des fruits noués au cours du temps selon les traitements.

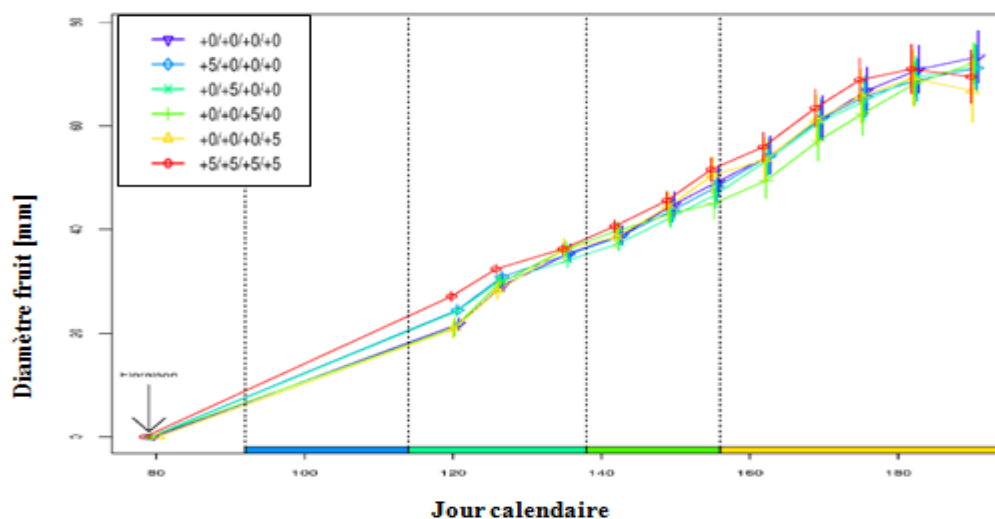


Figure 13 : Croissance en diamètre des fruits suivis (n=12 fruits/arbre) pour tous les arbres et les traitements.

6. Qualité des fruits

6.1. Date de récolte

La figure 14 montre la proportion de fruits récoltés en fonction du temps. On constate que pour le traitement +5°C continu la totalité des fruits murs sont récoltés entre les jours 183 et 192, pour les autres traitements la récolte des fruits murs est plus tardive et s'est étalée plus longtemps (entre les jours 185 et 205).

6.2. Taux de sucre (° brix)

La figure 15 montre l'évolution du Brix sur des fruits récoltés mûrs en fonction de la masse fraîche du fruit. En effet on constate que l'indice du Brix augmente considérablement pour les traitements +5°C continu et +5°C à la dernière période jusqu'à atteindre des valeurs près de 16°. Les autres traitements présentent des valeurs plus faibles ne dépassant pas 13°, ceci est montré également dans la figure 16 qui présente l'indice du Brix à la récolte.

6.3. Teneur en matière sèche

La figure 17 présente l'évolution de la teneur en matière sèche de la chair des fruits murs en fonction de la masse du fruit. On remarque que les deux traitements +5°C continu et +5°C à la dernière période présentent des teneurs en MS plus élevées comparées aux autres traitements, ceci est montré également par le Box plot présenté dans la figure 18.

IV. DISCUSSION

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

La température est l'un des facteurs principaux qui gouverne la productivité des plantes. 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. 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. Si la température a permis une anticipation et une accélération de l'émergence des feuilles et de la croissance des pousses, elle a aussi engendré un raccourcissement du cycle. L'émergence des feuilles est essentiellement sous la dépendance du temps thermique, hors stress majeur. Pour la croissance, il y a anticipation, mais au final la longueur des axes n'est pas plus grande. Au contraire, on constate une diminution de la longueur finale des pousses pour les traitements à +5°C. Cette diminution des dimensions finales peut être liée à un raccourcissement du cycle ou à un effet délétère des températures élevées sur la croissance.

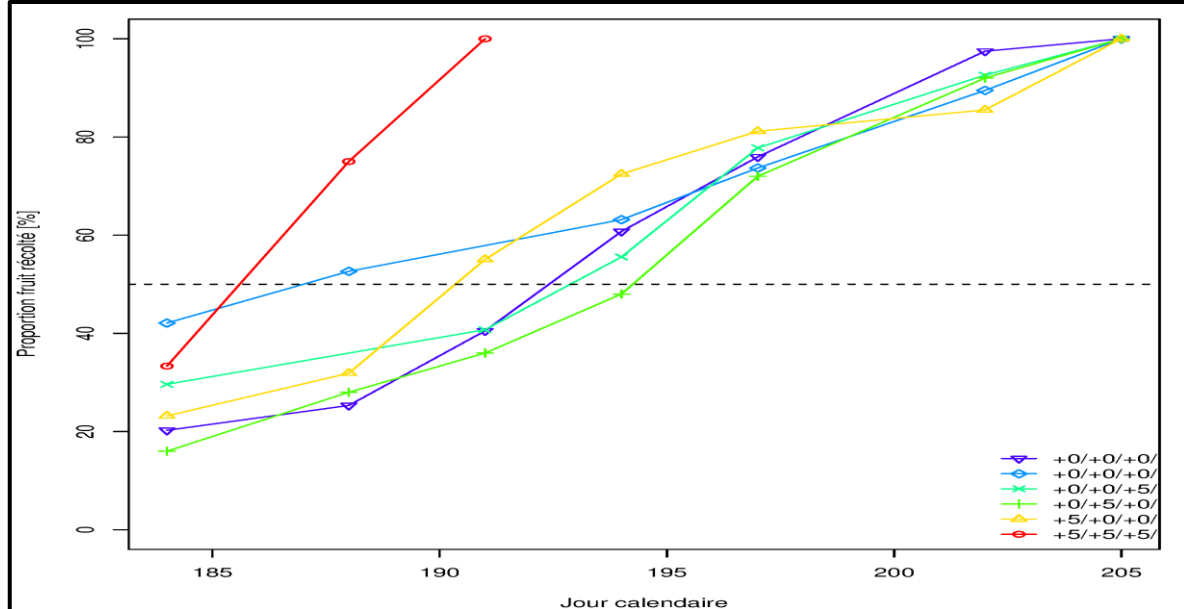


Figure 14: Proportion de fruits récoltés au cours du temps.

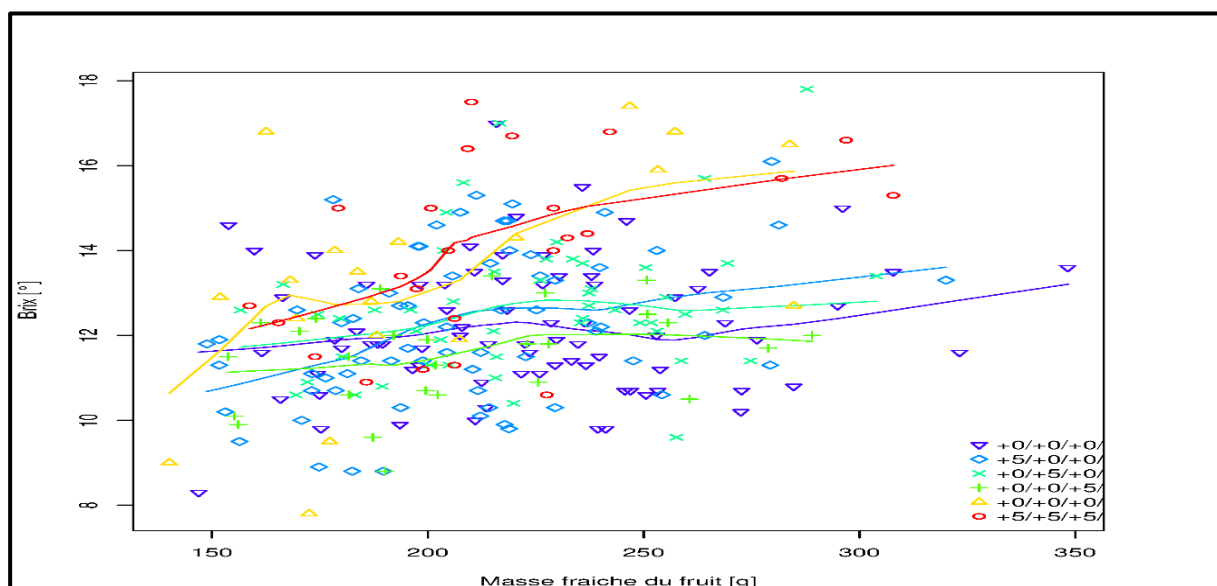


Figure 15 : Evolution du ° Brix en fonction de la masse fraîche du fruit.

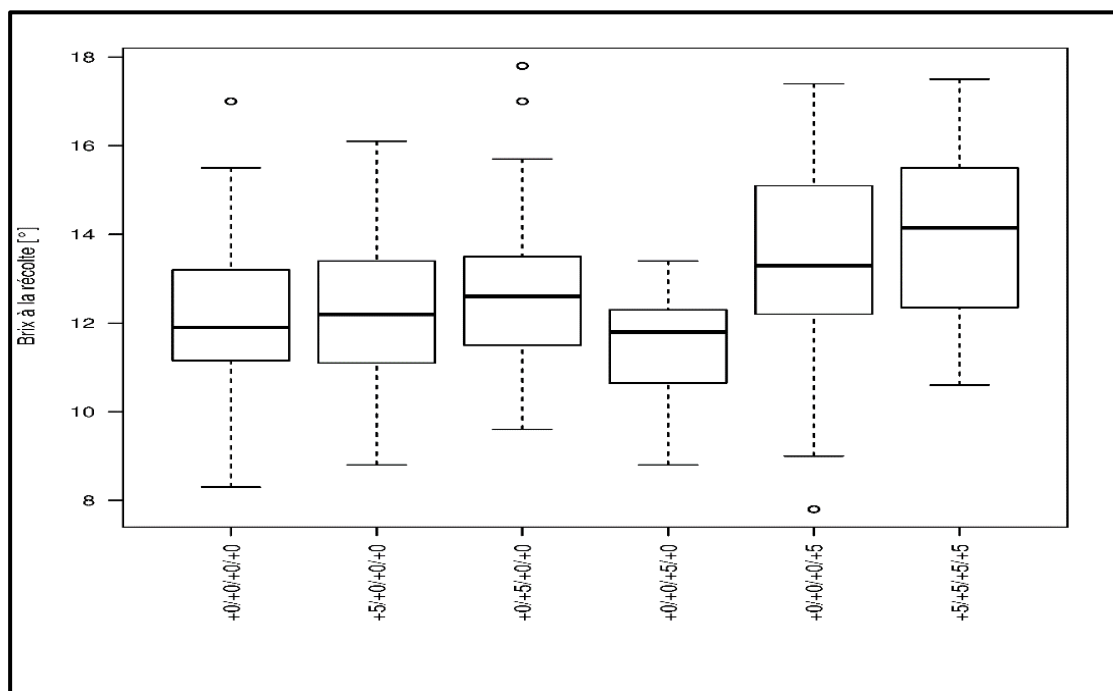


Figure 16 : Box plot de l'indice de Brix en fonction des traitements.

La croissance dépend principalement de la disponibilité en carbone et en eau, et dans une moindre mesure du temps thermique. 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 1ère 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 en diamètre du fruit est faible [110-138 jours] (figure 10). Au cours de cette phase (lignification du noyau). On observe un ralentissement de la vitesse de croissance végétative pendant la 3ème phase de croissance du fruit, période où la demande en assimilats du fruit est forte.

2. Réponse du potentiel hydrique et des échanges gazeux à l'augmentation des températures

Les résultats obtenus pour le potentiel hydrique montre bien que les arbres soumis à une forte température sont ceux ayant le potentiel hydrique le plus faible. Les traitements thermiques aboutissant à l'augmentation des températures journalières ont conduit à une forte augmentation du déficit de pression de vapeur de l'atmosphère, qui conditionne le gradient de potentiel hydrique entre la feuille et l'air. Le graphique 7 montre bien l'augmentation de la transpiration pour une même conductance stomatique pour le traitement +5°C continu. Cette évaluation est liée à l'augmentation de la demande climatique. Il n'y pas que la variable température qui est modifiée par le traitement. La gestion du climat sous serre a entraîné également de très fortes différences en termes d'humidité, et plus précisément en termes de VPD. De façon complémentaire, les arbres ont répondu à l'augmentation du VPD de l'air par la diminution de la conductance stomatique afin de limiter la perte d'eau par transpiration (graphique 7, conductance feuille). 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 seule la température a diminué le potentiel hydrique, car ce dernier est fondamentalement lié à plusieurs autres variables à savoir le VPD, le comportement stomatique, etc... En se référant à la figure 7, on constate un optimum d'activité photosynthétique à une température comprise entre 29°C et 33°C. Une augmentation de la photosynthèse (Lambers et Poorters, 1992). L'augmentation des températures, au-delà d'un seuil de 33°C a provoqué ensuite une chute de la photosynthèse (graphique 7).

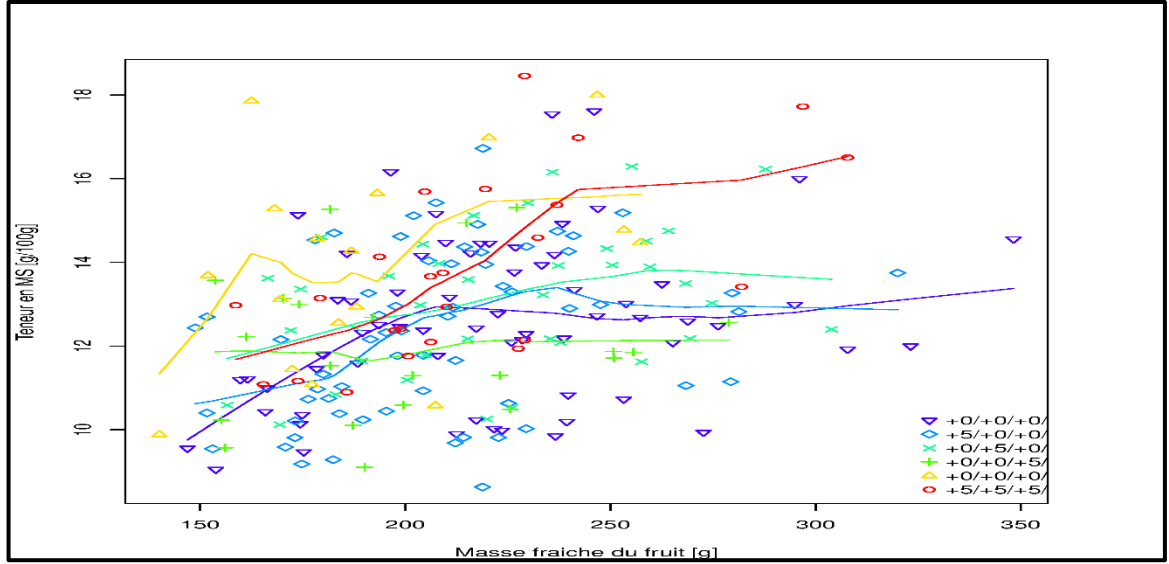


Figure 17 : Evolution de la teneur en matière sèche des fruits murs en fonction de la masse du fruit

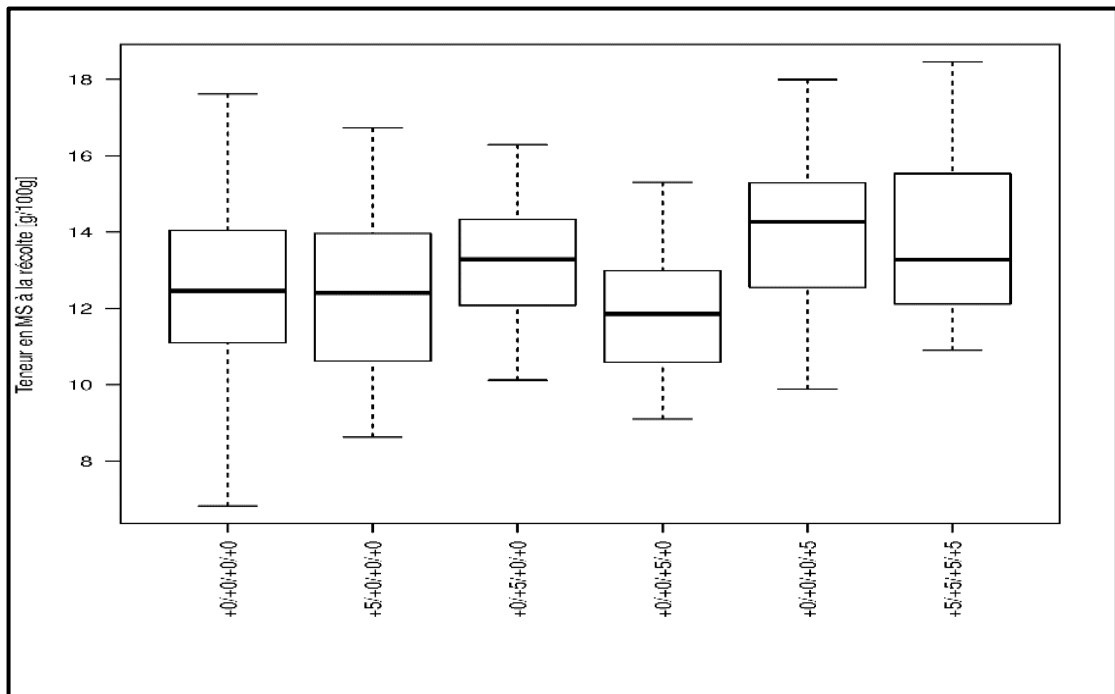


Figure 18 : Box plot de la teneur en MS à la récolte en fonction des traitements.

Kadir et al. (2006) ont montré 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. On constate également que la diminution de la conductance stomatique a induit une baisse de la photosynthèse (figure 7).

Toute fois les résultats obtenus ne permettent pas de conclure complètement sur l'influence des différents traitements thermiques sur les échanges gazeux du pêcher. D'autres facteurs important ont également fortement variés avec les traitements à savoir: l'éclairage, 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 (Layne et Bassi, 2008).

3. Effet de la température sur les processus de maturation et sur la qualité des fruits

La température a affecté de façon faible la croissance en diamètre des fruits. Ce pendant la température a exercé un effet important sur les critères simples de qualité (teneur en matière sèche, degré brix). Cet effet est très net quand l'élévation de température a été appliquée pendant la dernière période de croissance du fruit, juste avant la récolte. L'augmentation de la teneur en matière sèche pourrait être liée à une perte d'eau plus importante des fruits liée à une plus grande transpiration mais aussi à une accumulation plus forte de solutés provenant de la photosynthèse du fait d'un plus grand développement végétatif des plantes. Il faudra attendre les analyses biochimiques pour interpréter ces différences de composition et vérifier si en dehors de l'augmentation de la matière sèche, la composition des fruits a également été affectée.

Le degré Brix montrent que les fruits du traitement +5°C continu et +5°C sur la dernière période ont également des valeurs de brix supérieurs.

Les fruits à +5°C continu et +5°C sur la dernière période ont atteint plus précocement leur maturité physiologique. Ces résultats confirment ceux obtenus en 2013 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. Des comptages cellulaires de la chair des pêches sont prévus afin de confirmer si la température a effectivement affecté les divisions cellulaires ou seulement anticipé. 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.

D'après la bibliographie, l'élévation de la température peut modifier la composition des fruits récoltés et en particulier leur teneur en acides et en pigments. De fortes températures peuvent diminuer l'acidité de la pêche (Claudio., Budde et al. 2006) et augmenter le rapport sucre /acide indicateur de la qualité gustative des fruits.

V.CONCLUSION

Cette étude consistait à caractériser le développement végétatif et reproducteur du pêcher soumis à des élévations temporaires pendant la période de développement précoce du fruit ou pendant sa période de maturation. Le fonctionnement de la plante, la croissance, le développement du fruit et sa composition ont été suivis afin de comprendre et anticiper les effets du changement climatique sur la qualité des fruits, des graines et des semences.

Concernant les résultats obtenus, 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 montrer que la température a affecté négativement le développement reproductif en augmentant très fortement la chute physiologique notamment à un stade jeune.

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°C continu, à +5°C à la dernière période, +5°C à la première période qui ont été récoltés beaucoup plus précocement à pleine maturité, deux semaines avant les témoins. On note également, un effet léger de la température sur la vitesse de croissance en diamètre des fruits surtout pendant la période 2. Cependant, ces effets en termes de croissance sont transitoires, et il n'y a pas d'effet entre les traitements sur le calibre final des fruits.

L'augmentation de la température semble favoriser à la fois la teneur en MS et la teneur en sucres solubles (°Brix) des fruits à maturité pour les traitements +5°C continu et +5°C à la dernière période. Ceci pourrait être lié à l'augmentation de la croissance végétative générant une augmentation du rapport feuilles / fruits et donc des assimilats carbonés pouvant être transférés vers les fruits.

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.

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.

Références bibliographiques

- ❖ Adra. F. 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. 2013. P 28.
- ❖ Agenis. N. M « Impacts du changement climatique sur les activités vitivinicoles ». Note n°3 de l'ONERC [En ligne]. 2006.
- ❖ Ameglio. T, Cruiziat. P. Relations hydriques chez le jeune noyer, de l'échelle de la journée à celle de l'année, en liaison avec quelques aspects de la physiologie de l'arbre = Water relations in young walnut in conjunction with some physiological aspect: daily and seasonally variations. 1991.
- ❖ Ammar. A. Etude des Effets de fortes températures sur la production du pêcher et la qualité des fruits. Master Université de Montpellier, Systèmes et techniques innovants en horticulture et pour la santé des plantes. P 16. 2014.
- ❖ Ashraf. M, Harris. P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*. P 51, 163–190, 2013.
- ❖ Balandier. P, Couduroux. J. C : Etude dynamique de la croissance et du développement des bourgeons des quelques cultivars de pêcher cultivés à diverses altitudes sous le climat tropical de l'île de la Réunion, 1992.
- ❖ Bazzaz. F. A, Sombroek. W. 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, 1997
- ❖ Boivin. T, Chadoeuf. J, Bouvier. J. C, Beslay. D, Sauphanor. B. Modelling interactions between phenology and insecticide resistance genes in the codling moth *Cydia pomonella* (L.). *Pest Management Science*. 2005. Vol. 61, p. 53-67.
- ❖ Brisson. N, Levraut. F. Livre vert du projet CLIMATOR: changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impacts sur les principales espèces. ADEME. 2010.
- ❖ Chmielewski. F. M, Görgens. M, Kemfert. C, Climate Change and Fruit Growing in Germany, 2004.
- ❖ Chmielewski. F. M, Müller. A, Bruns. E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000 ». *Agricultural and Forest Meteorology*. 2004. Vol. 121, n°1–2, p. 69-78.
- ❖ Da Matta. F. M, Grandis. A, Arenque. B.C, Buckeridge. M. S, Impacts of climate changes on crop physiology and food quality, 2009.

- ❖ Doi. H. Winter flowering phenology of Japanese apricot *Prunus mume* reflects climate change across Japan. *Clim. Res.* p 34, 99–104, 2007.
- ❖ F.N. childrens. Eight Edition. Modern fruit Science. Horticultural Publications –New Jersey. 1993, 969 p
- ❖ Gibert.C, Lescourret. F, Génard. M, Vercambre. G, Pastor. A. P. Modelling the Effect of Fruit Growth on Surface Conductance to Water Vapour Diffusion. *Ann. Bot.* 95, 673–683. 2005.
- ❖ greste. A <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>
- ❖ IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,2013.
- ❖ Lebourgeois. F, Godfroy. P. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle et du déterminisme climatique de la phénologie des peuplements du Réseau National de Suivi à Long Terme des Ecosystèmes Forestiers (RENECOFOR) ,2006.
- ❖ Lopez. G, Johnson. R. S, DeJong. T. M: High spring temperatures decrease peach fruit size, 2007.
- ❖ Marcelis. F. M, Lutske R. Baan Hofman-Eijer : *Physiologia Plantarum*, Effect of temperature on the growth of individual cucumber fruits, volume 87, issue 3, page 321-328 march 1993.
- ❖ Monet. R, Bastard. Y. Effets d'une température modérément élevée : 25 °C, sur les bourgeons floraux du Pêcher. 1970.
- ❖ Navarro. E, Contribution à l'amélioration des performances agronomiques en verger de pêcher ». Mémoire Ingénieur DPE, AgroM, Montpellier. 2005. p. 84.
- ❖ Nelson. G. C, Rosegrant. M. W , Koo. J, Robertson. R, Sulser. T, Zhu. T, Ringler. C, Msangi. S, Palazzo. A, Batka. M, Magalhaes. M, Valmonte-Santos. R, Ewing. M, et Lee. D: *Changement climatique Impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation*, Institut international de recherche sur les politiques alimentaires IFPRI Washington, D.C, 2009.
- ❖ Rathcke. B, E. Lacey.E, P . *Phenological Patterns of Terrestrial Plants . Annual Review of Ecology and Systematics* [En ligne]. 1 janvier 1985. Vol. 16, p. 179-214.
- ❖ Seguin. B : *Le changement climatique : Conséquences pour les végétaux*, Quaderni, 2009, p 27-40.

- ❖ Seguin. B. Le changement climatique : conséquences pour les végétaux. Quaderni, 2010. 71, 27–40.
- ❖ Stocker. T. F, Qin. D, Plattner. G. K, Tignor. M, Allen. S K, Boschung. J, Nauels. A, Xia. Y, Bex. V, Midgley. P. M (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- ❖ **Tyree. M, Cochard. H, Cruiziat. P, Sinclair. B, Ameglio. T : Drought-induced leaf shedding in walnut: evidence for vulnerability segmentation, Plant, cell and environnement, volume 16. Pages 879-882, 1993.**
- ❖ Warrington. J, Fulton. T. A, Halligan. E. A, De Silva. H. N. Apple Fruit Growth and Maturity are affected by Early Season Temperatures. Journal of the American Society for Horticultural Science. 9 janvier 1999. Vol. 124, n°5, p. 468-477.
- ❖ Went. F. W. The effect of temperature on plant growth. Annual Review of Plant Physiology. 1953. Vol. 4, n°1, p. 347–362.
- ❖ Winkel. T, Rambal. S. Stomatal conductance of some grapevines growing in the field under a Mediterranean environment. Agric. For. Meteorol. 1990. 51, 107–121.

ANNEXES

Annexe A : compartiment 1 (3 lignes de 5 arbres) à +0°C



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



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



Annexe D : variation de la photosynthèse en fonction de la température de feuilles.

