



HAL
open science

Conséquences des changements climatiques pour les plantes pérennes et les productions fruitières : quelques pistes pour la sélection

Thierry Ameglio

► **To cite this version:**

Thierry Ameglio. Conséquences des changements climatiques pour les plantes pérennes et les productions fruitières : quelques pistes pour la sélection. Journée ASF Association des Sélectionneurs Français, 2008, Paris, France. hal-01189590

HAL Id: hal-01189590

<https://hal.science/hal-01189590>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
POUR LES PLANTES PERENNES ET LES PRODUCTIONS FRUITIERES :
QUELQUES PISTES POUR LA SELECTION.**

Thierry AMEGLIO^{1,2}

1 : INRA, UMRA 547 PIAF, 63100 Clermont-Ferrand – ameglio@clermont.inra.fr

2 : Clermont Université, Université Blaise Pascal, UMRA 547 PIAF, 63100 Clermont-Fd

RESUME

Cette revue non exhaustive cherche à donner les principaux impacts, positifs ou négatifs, des changements climatiques pour les plantes pérennes et les productions fruitières en insistant sur les besoins de connaissances restant à acquérir, mais aussi sur quelques traits fonctionnels et/ou outils déjà disponibles en écophysiologie qui devraient permettre d'établir des collaborations fructueuses avec les améliorateurs pour la sélection de plantes adaptées. Ce défi est, en tout cas, particulièrement urgent pour les plantes pérennes et la forêt plus spécifiquement étant donné que la portée des prédictions sur l'évolution du climat pour le 21^{ème} siècle est du même ordre de grandeur que la durée de révolution de la plupart des espèces forestières concernées.

(Mots clefs : Températures, Sécheresse, Adaptation, Traits fonctionnels, Ecophysiologie)

1- INTRODUCTION

La température sur la planète pourrait, d'après les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), s'élever de l'ordre de 1 à 3 degrés (Celsius) d'ici 2050, le double à la fin de ce siècle. Alors que le cycle naturel d'évolution du climat situerait l'époque actuelle dans une phase de refroidissement, la température moyenne globale à la surface de la terre a déjà augmenté de près d'un degré depuis la moitié du 19^{ème} siècle. La rapidité avec laquelle ce réchauffement s'effectue (en regard des 400 000 dernières années) tient pour l'essentiel aux activités humaines, à savoir les transports, les activités industrielles, les activités agricoles et agroalimentaires ou le mode de vie des particuliers (voiture individuelle, chauffage, climatisation, déchets...). Ces activités sont, en effet, à l'origine d'émissions supplémentaires de « gaz à effet de serre » (GES) naturels ou artificiels. L'agriculture et la sylviculture, qui sont responsables en France d'un cinquième des émissions de GES, sont particulièrement concernées par la problématique du changement climatique. Si elles se révèlent être plus sensibles que d'autres secteurs d'activité aux modifications climatiques, elles disposent aussi de plus grandes capacités pour participer à la réduction des émissions de GES.

2 - QUEL IMPACT SUR LE FONCTIONNEMENT DES ARBRES ?

Dans un premier temps, avant d'en venir à l'impact du réchauffement climatique proprement dit, il est nécessaire de prendre en compte l'effet de l'augmentation du gaz carbonique atmosphérique CO_2 sur la stimulation de la photosynthèse des végétaux. Sous l'hypothèse d'un doublement du CO_2 pour la fin du siècle, les travaux d'écophysiologie sur la photosynthèse permettent de prédire une augmentation de son activité de l'ordre de 20 à 30 %, conduisant à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 10 à 20 % (en prenant en compte l'augmentation de la respiration liée à l'effet de l'augmentation de la température). La figure ci-dessous (Figure 1), illustre cette stimulation. Les mesures de conductance stomatique montrent également que l'augmentation de la concentration en CO_2 a un effet direct sur la fermeture partielle des stomates, ce qui contribue à provoquer une baisse de la transpiration des plantes et, en conséquence, un accroissement de la biomasse produite et des rendements potentiels pour les plantes d'intérêt agricole et forestier (Liozon, 1998).



Figure 1.a : Dispositif de mesures d'échange gazeux (CO_2 , H_2O) sur jeune Noyer, permettant de déterminer la photosynthèse et la transpiration en conditions « naturelles ». Daudet 1987, Améglio *et al.* 1993.

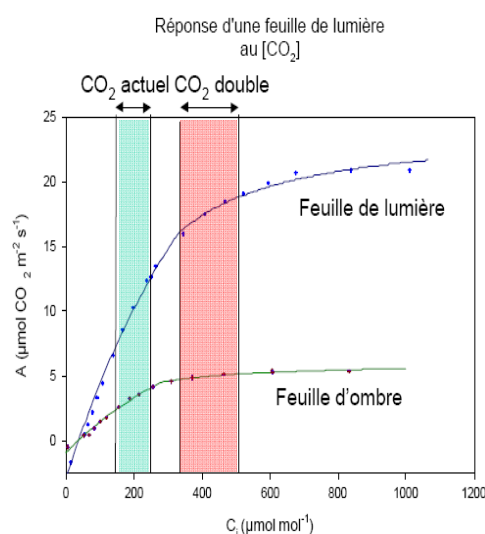


Figure 1.b : Mesures de l'assimilation nette en fonction de la concentration interne en CO_2 pour une feuille de pleine lumière et une feuille d'ombre. On peut observer, en particulier pour la feuille éclairée, que la concentration actuelle en CO_2 est loin de saturer la courbe d'assimilation nette.

C'est ce qui est globalement observé depuis plusieurs années sur la productivité des arbres forestiers. La figure suivante (Fig. 2) illustre cette tendance sur des hêtres du nord-est de la France, avec un accroissement significatif de la croissance radiale au cours des 150 dernières années.

Hêtre



Figure 2.a : Coupe radiale des différents cernes d'un arbre permettant de mesurer les accroissements annuels au cours des années successives.

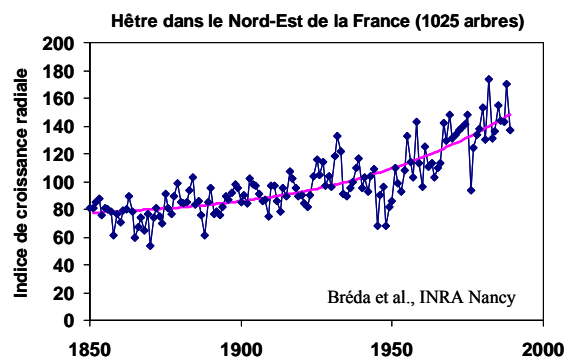


Figure 2.b : Evolution de l'indice de croissance radiale du hêtre dans le nord-est de la France déterminé à partir de la largeur des cernes mesurés chaque année. (Bréda *et al.* 2000)

<https://www2.nancy.inra.fr/unites/lerfob/ecologie-forestiere/pages-perso/f-lebourgeois/dendroecologie.html>

Cette réponse positive de la photosynthèse à un enrichissement en carbone de l'atmosphère dépend toutefois de différents facteurs. En effet, le type de métabolisme carboné (C3 vs. C4), la température et la disponibilité en eau interfèrent sur la photosynthèse. Ainsi, les plantes en C3 (riz, blé, betterave, pois, **tous les arbres**) répondent fortement à une augmentation de la teneur en carbone atmosphérique dans la gamme de concentrations considérée, alors que la réponse des plantes en C4 (maïs, sorgho, canne à sucre) est beaucoup plus faible au-delà de 400 ppm, proche de la teneur actuelle de l'atmosphère.

Cet effet sur la photosynthèse sera combiné à l'effet propre du réchauffement climatique sur la température en premier lieu, mais également sur les autres facteurs, en particulier la pluie. Bien que la réponse physiologique des plantes à un enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique et à une augmentation concomitante de la température entraîne en théorie une production plus importante de biomasse, les effets sur le rendement des espèces cultivées, à l'échelle du peuplement, risquent d'être beaucoup plus contrastés. Cela est particulièrement vrai pour le sud, où l'optimum thermique pour la photosynthèse est souvent déjà atteint, sinon dépassé dans certaines conditions. Dans les conditions tempérées, l'augmentation des températures peut favoriser la plupart des processus physiologiques et pour les végétations pérennes comme les prairies ou la forêt, l'avancée des stades de développement au printemps et le retard dans l'arrêt physiologique à l'automne, devraient conduire à une durée de la saison de végétation augmentée et une production de biomasse améliorée.

Pour tester ces hypothèses, il est donc nécessaire de mieux caractériser les périodes de croissance. Pour cela, des outils issus de l'industrie au départ, sont en train de diffuser en recherche fondamentale et R&D. En particulier, toutes les mesures continues de la croissance (Huguet, 1985) par capteur LVDT (Linear Variable Differential Transducteur), qui permettent non seulement de suivre ce paramètre, mais également le niveau d'hydratation (Améglio et Cruiziat, 1992; Simonneau et al. 1993) de déterminer de nombreux stress aussi bien biotiques (Cohen et al., 1997 ; Luque et al., 1999) qu'abiotiques (Schoch et al., 1988 ; Li et Huguet, 1990 ; Huguet et al., 1992 ; Goldhamer et Fereres, 2001 ; Améglio et al., 2001 ; 2003 ; Silpi et al., 2006). Par conséquent, la mesure continue de la production cambiale présente un attrait considérable aussi bien pour des études physiologiques à vocation de recherches (Daudet et al. 2005), que dans des situations très appliquées d'expertises de la vitalité des arbres dans des milieux et conditions variés (Améglio et al. 2010).

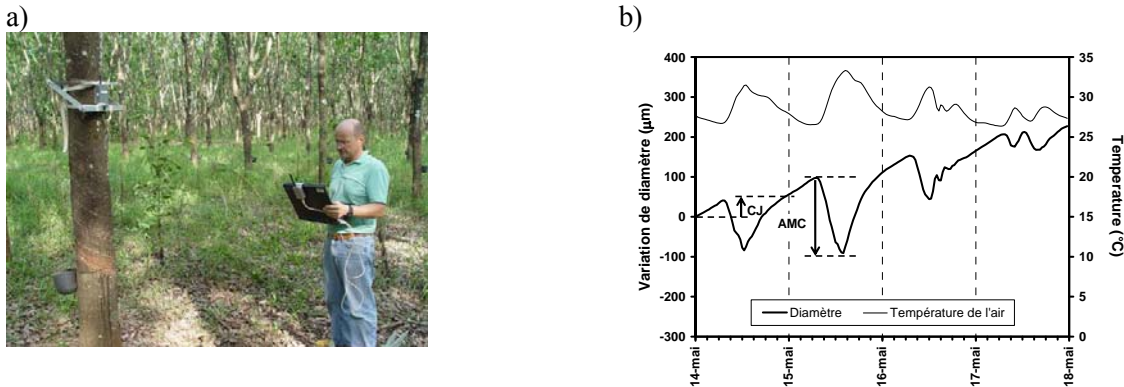


Figure 3 : Visualisation d'un téléchargement (a) et présentation des données journalières des deux mesures (température et variation de diamètre) issues du biocapteur PépiPIAF durant 4 journées aux climats contrastés (b). Deux paramètres journaliers synthétisent la réaction de l'arbre vis-à-vis de ces conditions de cultures : CJ, la croissance journalière, qui traduit l'efficacité de la photosynthèse et AMC, l'amplitude maximale de contraction, qui traduit, l'utilisation des réserves hydriques.

Outre ses impacts positifs sur la croissance, par l'intermédiaire de la photosynthèse, qui rappelons le, est particulièrement important pour l'ensemble des phases juvéniles des arbres (Seguin et al., 2006), de nombreux autres impacts viennent nuancer les conséquences attendues sur la production agricole et sylvicole. Citons par exemple, l'accélération des actions sylvicoles, comme les éclaircies qui devront être plus précoces et qui pourraient modifier les propriétés technologiques du bois (propriétés mécaniques et chimiques). Mais également, l'impact de cette augmentation de productivité sur les déséquilibres fonctionnels (ex. déficit azoté) augmentant alors la sensibilité des arbres aux contraintes de fertilité du milieu et contrebalançant ses effets positifs.

Enfin, l'avancée généralisée de la phénologie qui accompagne les températures hivernales plus douces, peut poser des problèmes de risque de gel au moment de la floraison, et de qualité par avancée des stades sensibles (Domergue et al. 2004, Figure 4), pour les arbres fruitiers et la vigne.

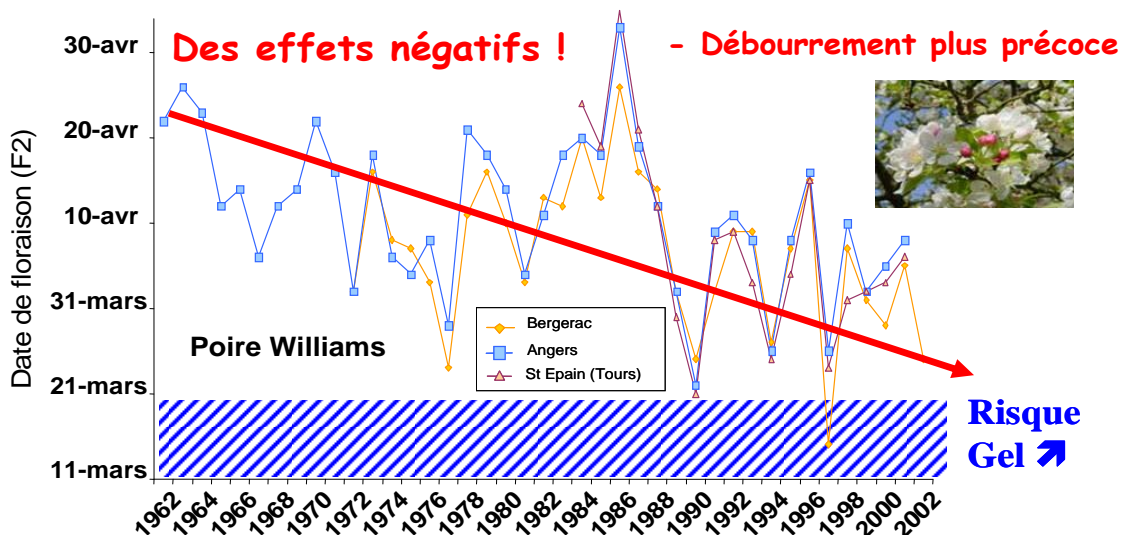


Figure 4 : Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962 (base de données Phenoclim ; Source Bernard Seguin, Micces INRA). L'avancement de la date de floraison est d'environ un mois en 40 ans. Elle est à mettre en regard des risques de gel printaniers du mois de mars, qui font que des variétés adaptés jusqu'à aujourd'hui, commencent à subir cet aléa. D'après (Domergue et al. 2004).

Ainsi pour la vigne, les travaux de Lebon (2002) montrent en lien avec l'élévation de température, un décalage des principales phases de maturation (véraison en particulier) vers la période la plus chaude de l'été, ce qui n'est pas sans conséquences sur la qualité du produit récolté, avec une augmentation de la teneur en sucre et du degré alcoolique pour les vingt dernières années.

Mais cette avancée de phénologie n'est possible que si les besoins de froid pour lever la dormance sont satisfaits. Les arboriculteurs fruitiers du Maghreb ou de zones sub-tropicales (ex. Brésil) qui se sont lancés dans la culture d'espèces fruitières originaires de zones tempérées, connaissent bien ces problèmes. Un « vieux » sujet de recherche de l'école Clermontoise issue des travaux du Professeur Champagnat reprend de la vigueur sous le crible des changements climatiques et beaucoup de connaissances restent à acquérir en particulier pour les arbres forestiers où les données sur les exigences thermiques pour lever la dormance ont été très peu étudiées. Il en est de même de la résistance au gel, les équipes travaillant sur ce sujet en France se comptent sur les doigts d'une seule main, alors que la disparition de cet aléa climatique n'est pas prédite par les modèles climatiques du GIEC (*cf.* figure 5).

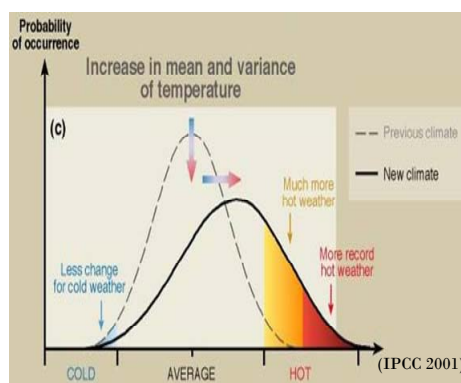


Figure 5 : Graphique représentant la probabilité d'apparition d'une température basse, moyenne ou chaude pour un climat actuel (courbe en trait discontinu) et à l'horizon 2100 (courbe en trait plein). On peut voir que la température moyenne et la variance des températures augmentent, tout comme la probabilité d'avoir des températures très élevées (canicule). A l'opposé, on observe peu de variations pour les basses températures. Ainsi la probabilité d'avoir des risques de gel reste toujours présente. Schéma tiré des rapports de l'IPCC, 2001, 2007.

La plupart des scénarii de répartition des espèces s'appuient uniquement sur les valeurs moyennes des facteurs climatiques. L'éventualité d'événements extrêmes et, de façon plus large, la prise en compte de la variabilité de ces facteurs pourraient conduire à des impacts différents de ce réchauffement moyen continu par le dépassement de valeurs-seuils encore mal cernées.

D'abord par ces valeurs basses pour les gels d'hiver ou de printemps (évoqués ci-dessus): si les scénarios s'accordent pour prévoir des hivers plus doux en moyenne, l'éventualité d'épisodes de froid dévastateurs (tels qu'en 1956 ou en 1987) pour les oliviers, les agrumes ou le mimosa n'est pas à écarter, alors que les seules températures moyennes leur permettraient de remonter vers le Nord. Ensuite, l'acclimatation au gel des espèces est un processus complexe qui dépend d'une part de la photopériode pour son initiation, mais surtout des interactions à l'automne entre la température de l'air (basses températures) et la physiologie de l'arbre (humidité pondérale et statut glucidique principalement ; Poirier et al. 2010).

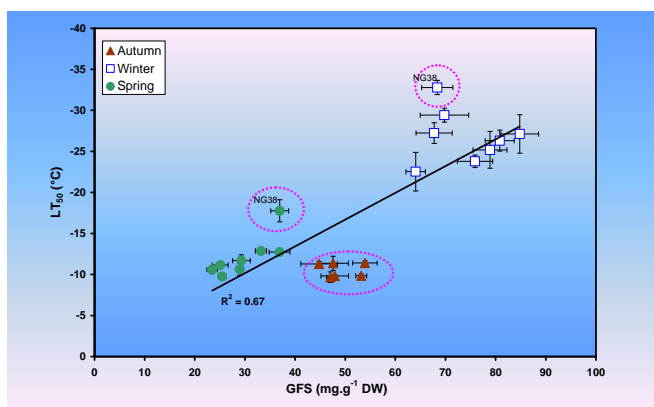


Figure 6 : Corrélation entre le contenu en sucres solubles (GFS: Glucose + Fructose + Saccharose) dans les parenchymes cellulaires des rameaux d'un an de différentes variétés de noyer et la température de l'air qui provoque 50% de dommage cellulaire (LT_{50}), d'après Poirier *et al.* 2006a.

Aucun modèle disponible actuellement n'est capable de prédire les niveaux d'endurcissement au gel avec des températures douces. Enfin, il ne faut surtout pas oublier, que si les capacités d'endurcissement au gel dépendent en partie du statut glucidique chez de nombreuses espèces (Morin *et al.* 2007, Poirier *et al.* 2010), l'interaction avec les conditions estivales de croissance (canicule, sécheresse, défoliation : Poirier et Améglio, 2006b) peut fortement limiter la production de réserves glucidiques et ainsi limiter par la suite les capacités d'endurcissement durant l'hiver. De plus, la fréquence de températures dites caniculaires, températures dépassant les 35°C, est prévue comme devant se produire une année sur deux à partir de 2050 (Planton 2005), et la tolérance des écosystèmes actuels, qu'ils soient cultivés ou naturels, est bien mal connue dans ces conditions.

La sensibilité des arbres à la sécheresse est par contre bien plus étudiée. Elle est aussi beaucoup plus préoccupante, car les sécheresses extrêmes ont souvent été identifiées comme le principal facteur de dépérissement et les capacités d'adaptation nécessitent de prendre en compte une durée bien plus longue que pour les grandes cultures, de l'ordre de dix à vingt années. Il faut donc se préoccuper dès maintenant du choix du matériel végétal adapté, en particulier pour les forêts, le plus souvent installées sur des sols à forte contrainte hydrique, voire modifier totalement le mode de conduite des peuplements et en particulier la régénération des peuplements les plus exposés. En effet, dans les forêts déjà établies, la régénération naturelle des peuplements, effectuée à partir des semenciers déjà en place, est le mode dominant de renouvellement des peuplements. Dans ces conditions, le choix des essences ne peut bien sûr se faire que parmi les espèces déjà présentes, ce qui limite les possibilités d'adaptation pour le sylviculteur aux modifications du bilan hydrique du peuplement via la régulation des coupes et donc de l'indice foliaire.

L'autre possibilité porte sur le choix d'essences parfaitement adaptées à la station et de traits fonctionnels de résistance à la sécheresse extrême, engageant la survie des arbres. L'embolie des vaisseaux du xylème semble être un trait fonctionnel de résistance aux sécheresses extrêmes particulièrement pertinent. La encore, de nouveaux outils, comme le cavitron (Cochard, 2002 ; Cochard *et al.* 2005) permettent maintenant de mesurer rapidement la création de l'embolie et de quantifier la vulnérabilité des espèces à la cavitation.

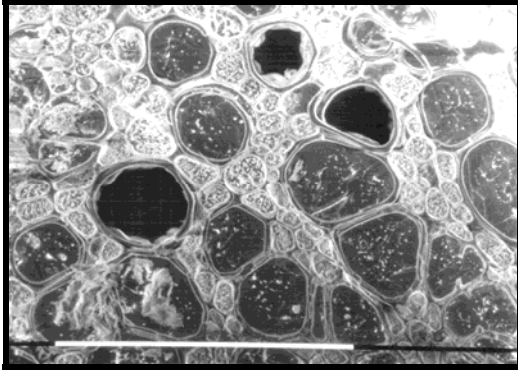


Figure 7 : Observation au Cryo-SEM d'une coupe transversale d'un pétiole de noyer prélevé sur un arbre à midi en conditions de fortes contraintes édaphiques. On peut visualiser sur cette photographie des vaisseaux pleins de sève, donc totalement remplis de glace et des vaisseaux embolisés, plein d'air. D'après Cochard *et al.* 2000



Figure 8 : Création d'un nouvel outil : le Cavitrone, permettant de créer et mesurer l'embolie par centrifugation et de reproduire en quelques minutes l'effet d'une sécheresse édaphique sur la formation de l'embolie. Cochard 2002 ; Cochard *et al.* 2005.

Les espèces les plus sensibles et donc les plus vulnérables à l'embolie sont les espèces de milieux hygrophiles (Figure 9) alors que les plus résistantes sont celles de milieux xérophiles.

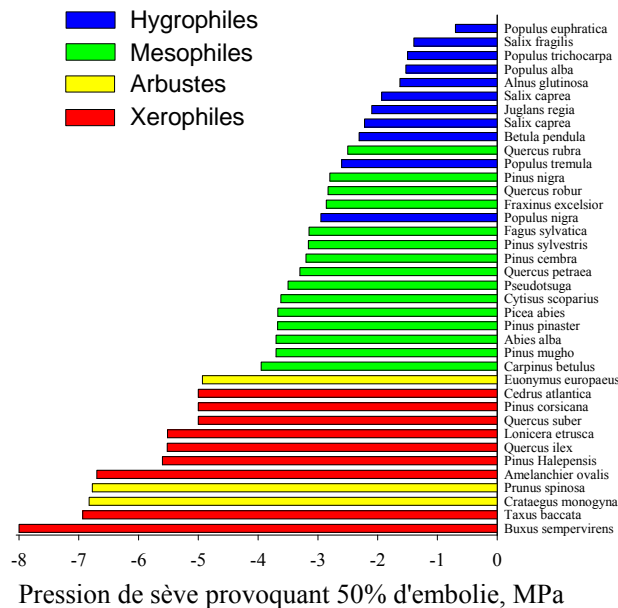


Figure 9 : Représentation du P₅₀ (pression négative de la sève provoquant 50 % d'embolie) chez différentes espèces classées selon un indice d'aridité de leur milieu (Rameau *et al.*, 1989, 1993). Compilation de travaux d'Hervé Cochard (UMR PIAF, INRA).

Ce trait fonctionnel (P₅₀ : pression négative de la sève provoquant 50 % d'embolie) permet de comparer des espèces entre elles, mais également de travailler sur des cible de sélection pour l'amélioration des plantes, comme l'épaisseur de la paroi des vaisseaux (Cochard *et al.* 2008, Figures 10 & 11).

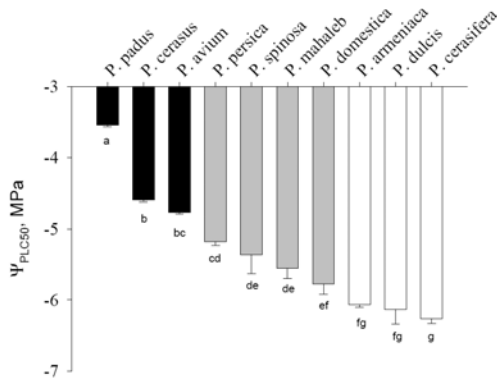


Figure 10 : Pression du xylème produisant 50 % de perte de conductivité hydraulique (P_{50}) chez 10 espèces de *Prunus* species. L'erreur type est représentée. Chaque lettre indique une différence significative au seuil $P = 0.05$. Tirée de Cochard *et al.* 2008.

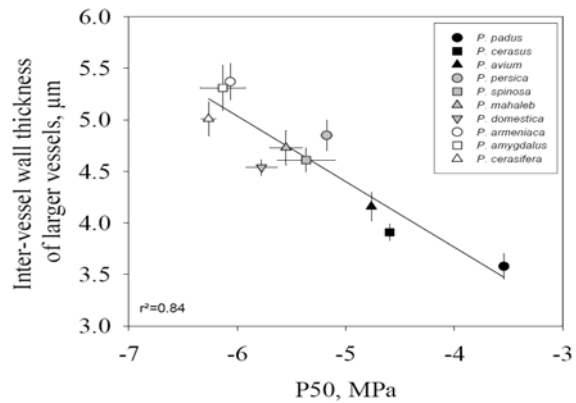


Figure 11 : Corrélation interspécifique entre l'épaisseur de la paroi entre 2 vaisseaux et la pression du xylème produisant 50 % de perte de conductivité hydraulique (P_{50}). La relation est présentée pour le plus large vaisseau de chaque espèce de *Prunus*. L'erreur type est représentée. Les espèces les plus résistantes à la cavitation présentent les plus larges parois. Tirée de Cochard *et al.* 2008.

Les arboretums d'espèces ou de provenances déjà installés en dehors de leur aire de distribution actuelle ainsi que les divers tests de survie et de performances dont on dispose aujourd'hui peuvent fournir des informations précieuses sur ces critères d'adaptabilité et sont donc maintenant à revisiter en étudiant les traits fonctionnels issus de nos recherches.

3 - CONCLUSIONS

Cette revue rapide des conséquences des changements climatiques pour les plantes pérennes et productions fruitières, sans être exhaustive, montre que de nombreuses connaissances restent encore à acquérir, même pour des aléas comme les basses températures souvent considérés aujourd'hui, avec les réchauffements climatiques prévisibles, comme étant moins préoccupantes. Il en est de même des modèles de prédiction de répartition des espèces, dans le contexte des changements climatiques. En effet, si les recherches sur ce point (Shafer *et al.* 2001, Bakkenes *et al.* 2002, Thomas *et al.* 2004) se développent fortement actuellement, les études sur les mécanismes restent rares et reposent sur des approches de type «enveloppe climatique» (projection de corrélations entre variables climatiques et les aires de répartition actuelles des espèces). Ces approches simulent de grandes tendances d'évolution et la biodiversité d'un site, mais ne permettent pas d'identifier finement les causes de la limitation d'une aire de répartition. Elles ignorent en particulier, la plasticité de la réponse de certains caractères écologiques d'une espèce au climat (Loehle & LeBlanc 1996) et éludent la possibilité que la tolérance d'une espèce change en fonction des conditions climatiques.

Cette revue voulait aussi montrer que les récents progrès des études en écophysiologie, en particulier dans la capacité à mesurer des traits fonctionnels caractéristiques de la distribution actuelle des espèces, traits fonctionnels (physiologique ou physique) suffisamment précis pour mieux comprendre les mécanismes de résistance, devraient également nous donner des pistes pour collaborer avec les améliorateurs et sélectionneurs sur des cibles pertinentes, afin d'atténuer les effets des changements climatiques.

“Journée de l'ASF du 1^{er} février 2007”
 “Nouveaux objectifs de sélection face aux enjeux climatiques, énergétiques et environnementaux de demain”

RÉFÉRENCES

- AMÉGLIO T, CRUIZIAT P. (1992) - Daily variations of stem and branch diameter: Short overview from a developed example. In: Karalis T.K. ed. Mechanics of swelling, NATO ASI Series, Vol. H.64. Springer Verlag, Berlin, (DEU), 193-204.
- AMÉGLIO T, COCHARD H, EWERS FW., 2001 - Stem diameter variations and cold hardiness in walnut tree. *Journal of Experimental Botany*, 52 (364): 2135-2142.
- AMÉGLIO T., DAUDET F.A., ARCHER P., FERREIRA I., 1993 - Comparison of 3 methods of measuring the transpiration of young trees. *Agronomie*, 13 (8): 751-759.
- AMÉGLIO T., DUSOTOIT-COUCAUD A., COSTE D. et ADAM B. 2010 – PepiPIAF: A new generation of biosensors for stress detections in perennial plants. ISHS 2010 - S15: Climawater 2010. Lisboa (Portugal), 22-27 août 2010. *Acta Horticulturae in press*
- AMÉGLIO T, EWERS FW, COCHARD H., 2003 - Gelista™: a new tool for testing frost hardiness by stem diameter variations. *Acta Horticulturae* 618, 509-515.
- BAKKENES, M., J. R. M. ALKEMADE, F. IHLE, R. LEEMANS, LATOUR J.B. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8:390-407.
- BREDA, N., GRANIER, A., AUSSENAC, G, 2000 - Evolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Revue Forestiere Francaise*, 52, 73-90.
- COCHARD H., BODET C., AMÉGLIO T., CRUIZIAT P., 2000 - Cryo-scanning electron microscopy observations of vessel content during transpiration in walnut petioles. Facts or artifacts? *Plant Physiology* 124 (3): 1191-1202.
- COCHARD H, BARIGAH ST, KLEINHENTZ M , ESHEL A. 2008 Is xylem cavitation resistance a relevant criterion for screening drought resistance amongst Prunus species ? *Journal of Plant Physiology*, 165: 976-982
- COCHARD H, DAMOUR G, BODET C, THARWAT I, POIRIER M, AMÉGLIO T 2005 Evaluation of a new centrifuge technique for rapid generation of xylem vulnerability curves. *Physiologia Plantarum* 124:410-418
- COCHARD H 2002. A technique for measuring xylem hydraulic conductance under high negative pressures. *Plant Cell and Environment* 25 : 815-819.
- COHEN M. LUQUE J, ALVAREZ IF., 1997 - Use of stem diameter variations for detecting the effects of pathogens on plant water status. *Annals of Forest Science*, 54, (5), 463-472.
- DAUDET FA (1987) Un système simple pour la mesure *in situ* des échanges gazeux de couverts végétaux de quelques mètres carrés de surface foliaire. *Agronomie* 7(2), 133-139
- DAUDET FA, AMÉGLIO T, COCHARD H, ARCHILLA O, LACOINTE A 2004. Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations. *Journal of Experimental Botany* 56: 409 135-144
- DOMERGUE M., LEGAVE J. M., CALLEJA M., MOUTIER N., BRISSON N., SEGUIN B. Réchauffement climatique : quels effets sur la floraison chez trois espèces fruitières ? *Arboriculture fruitière*, (2004), 578, 27-33.
- GIEC/IPCC, 2001 - Bilan 2007 des changements climatiques : impacts, adaptation et vulnérabilité. www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_ii_du_giec.
- GIEC/IPCC, 2007 - Bilan 2007 des changements climatiques : impacts, adaptation et vulnérabilité. www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_ii_du_giec.
- HUGUET J-G. (1985) - Appréciation de l'état hydrique d'une plante à partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée. *Agronomie*, 5, 733-741.
- LOEHLE, C., AND D. LEBLANC. 1996. Model-based assessments of climate effects on forests: a critical review. *Ecological Modelling* 90:1-31.
- LIOZON R. (1998) - Effets d'un enrichissement en CO₂ sur la photosynthèse et la croissance de petits couverts de hêtres ». 1998 - Thèse de Doct. en Sci., Univ. Paris-Sud, Orsay, 184 p
- MORIN X., AMEGLIO T., AHASR., KURZ-BESSON C., LANTA V., LEBOURGEOIS F., MIGLIETTA F., CHUINE I., 2007. Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. *Tree Physiology* Volume 27 (6), 817–825

- PLANTON S., 2005, Changements climatiques futurs en France, in ' *Impacts climatiques en France* ', Greenpeace ,1.5, 48-54
- POIRIER MAGALIE, 2008. Etude écophysiological de l'endurcissement au gel des arbres : Impacts des conditions de cultures estivales sur l'endurcissement au gel du Noyer. Ecole doctorale de la Santé et de la Vie, Université Blaise Pascal, 1314 pp.
- SEGUIN B., BRISSON N., LOUSTAU D., DUPOUEY J.L., 2006, Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt, In ' *L'homme face au climat* ', ed Odile Jacob, 177-204.
- SHAFFER, S. L., P. J. BARTLEIN, AND R. S. THOMPSON. 2001. Potential changes in the distributions of Western North America tree and shrub taxa under future climate scenarios. *Ecosystems* 4:200-215.
- THOMAS, C. D., A. CAMERON, R. E. GREEN, M. BAKKENES, L. J. BEAUMONT, Y. C. COLLINGHAM, B. F. N. ERASMUS, M. F. D. SIQUEIRA, A. GRAINGER, L. HANNA, L. HUGHES, B. HUNTLEY, A. S. V. JAARSVELD, G. F. MIDGLEY, L. MILES, M. A. ORTEGA-HUERTA, A. T. PETERSON, O. L. PHILLIPS, AND S. E. WILLIAMS. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148.
- GOLDHAMER DA, FERERES E., 2001 - Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Sciences* 20:115–25.
- HUGUET J-G, LI SH, LORENDEAU JY, PELLOUS G., 1992 - Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *Journal Horticultural Sciences*, 67 (5), 631-640.
- LEBON E., 2002. Changements climatiques: quelles conséquences prévisibles sur la viticulture? 6èmes Rencontres Rhodaniennes. Ed. Institut Rhodanien. Orange, France. 31-36pp.
- LI SH, HUGUET JG., 1990 - Controlling water status of plants and scheduling irrigation by the micromorphometric method for fruit trees. In: "Scheduling of irrigation for vegetable crops under field irrigation". *Acta Horticulturae*, 278, 333-342
- LUQUE J, COHEN M, SAVE R, BIEL C, ALVAREZ I F., 1999 - Effects of three fungal pathogens on water relations, chlorophyll fluorescence and growth of *Quercus suber* L. *Annals of Forest Science*, 56, 19-26
- PLANTON S., 2005, Changements climatiques futurs en France, in ' *Impacts climatiques en France* ', Greenpeace ,1.5, 48-54
- POIRIER M., AMÉGLIO T., 2006b - Impact of summer conditions of growth (drought, defoliation) on freezing tolerance of trees. Abstract. *Cryobiology*, Volume 53 (3), Page 425
- POIRIER M., BODET C., PLOQUIN S., SAINT-JOANIS B., LACOINTE A., AMÉGLIO T., 2006a - Walnut cultivar performance of cold resistance in the south central France. Ed. M.E. Malvolti, D. Avanzato. *Acta Hort. (ISHS)* 705:281-285
- POIRIER M., LACOINTE A., AMÉGLIO T., 2010 - A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiology* 30 (12), 1555-1569. (doi:10.1093/treephys/tpq087).
- RAMEAU JC, MANSION D, DUMÉ G, TIMBAL J, LECOINTE A, DUPONT P, KELLER R 1989 In: *Flore forestière française. I Plaines et Collines*, eds. Institut pour le développement forestier, Paris, pp. 1785
- RAMEAU JC, MANSION D, DUME G, TIMBAL J, LECOINTE A, DUPONT P, KELLER R 1993 In: *Flore forestière française. II Montagnes*, eds. Institut pour le développement forestier, Paris, pp. 2421
- SCHOCH PG, L'HOTEL JC, BRUNEL B., 1988 - Variations of stem diameter, leaf stomatal resistance and net photosynthetic rate in egg-plants affected by water stress. *Photosynthetica*, 22, (4), 477-482
- SIMONNEAU T, HABIB R, GOUTOULY JP, HUGUET JG., 1993 - Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content: Direct evidence in peach trees. *Journal of Experimental Botany* 44, 615-621.
- SILPI U., THALER P., KASEMSAP P., LACOINTE A., CHANTUMA A., ADAM B., GOHET E., THANYSAWANYANGKURA S., AMÉGLIO T., 2006 - Effect of tapping activity on the dynamics of radial growth of *Hevea brasiliensis* trees. *Tree Physiology* 26 (12), 1579-1587.
- Zweifel R, Item H, Häsler R., 2000 - Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees* 15:50-57.